

Inhaltsverzeichnis

1. Zusammenfassung	4
2. Summary	6
3. Einleitung und Zielsetzung.....	8
4. Literaturübersicht	9
4.1 Anatomie und Knochenmessungen an Meta- und Akropodium	9
4.1.1 Röhrbein	9
4.1.2 Ossa sesamoidea proximalia	13
4.1.3 Fesselbein	13
4.1.4 Kronbein	15
4.1.5 Ossa sesamoidea distalia	16
4.1.6 Klauenbein.....	16
4.1.7. Längenunterschied bis zum Klauengelenk.....	19
4.2 Messgenauigkeit	19
5. Material und Methodik.....	21
5.1 Tiere und Präparate	21
5.1.1 Kälber	21
5.1.2 Rinder	22
5.1.3 Jungkühe.....	23
5.1.4 Altkühe	24
5.2 Vorbereitung und Zuordnung der Präparate	25
5.3 Röntgenologische Untersuchung	26
5.4 Messungen an den Röntgenbildern.....	27
5.4.1 Mittel- und Grundlinie.....	28
5.4.2 Fugenwinkel	30
5.4.3 Messpunkte an den Röhrbeinkondylen	30
5.4.4 Messpunkte am Fesselbein.....	32
5.4.5 Messpunkte am Kronbein.....	33

5.4.6 Messpunkte am Klauenbein	34
5.4.7 Zehenlänge bis zum Klauengelenk/zur Klauenbeinspitze	35
5.4.8 Bestimmen der Längendominanz.....	37
5.5 Statistische Methoden	37
6. Ergebnisse	38
6.1 Messungen an den isolierten Füßen von Kälbern.....	38
6.1.1 Knochenlängen an den Zehen der Schultergliedmassen.....	38
6.1.2 Knochenlängen an den Zehen der Beckengliedmassen	41
6.1.3 Knochenbreiten an den Zehen der Schultergliedmassen	43
6.1.4 Knochenbreiten an den Zehen der Beckengliedmassen.....	44
6.2 Messungen an den isolierten Füßen von Rindern.....	46
6.2.1 Knochenlängen an den Zehen der Schultergliedmassen.....	46
6.2.2 Knochenlängen an den Zehen der Beckengliedmassen	48
6.2.3 Knochenbreiten an den Zehen der Schultergliedmassen	51
6.2.4 Knochenbreiten an den Zehen der Beckengliedmassen.....	52
6.3 Messungen an den isolierten Füßen von Jungkühen	53
6.3.1 Knochenlängen an den Zehen der Schultergliedmassen.....	53
6.3.2 Knochenlängen an den Zehen der Beckengliedmassen	56
6.3.3 Knochenbreiten an den Zehen der Schultergliedmassen	58
6.3.4 Knochenbreiten an den Zehen der Beckengliedmassen.....	59
6.4 Messungen an den isolierten Füßen von Altkühen.....	61
6.4.1 Knochenlängen an den Zehen der Schultergliedmassen.....	61
6.4.2 Knochenlängen an den Zehen der Beckengliedmassen	63
6.4.3 Knochenbreiten an den Zehen der Schultergliedmassen	65
6.4.4 Knochenbreiten an den Zehen der Beckengliedmassen.....	67
6.5 Winkelmessungen zwischen Röhrbein-/ Epiphysenfugenachse	68
6.6 Zusammenfassung der Ergebnisse.....	70
7. Diskussion	74
8. Literaturverzeichnis.....	87

9. Lebenslauf	96
10. Danksagungen	97

1. Zusammenfassung

Die Zehen von 10 Kälbern, 10 Rindern, 10 Jungkühen und 10 Altkühen wurden anhand von Röntgenbildern auf eine mögliche Längendifferenz zwischen den medialen und lateralen Zehenknochen hin untersucht. Die Untersuchung erfolgte postmortal an digitalen Röntgenaufnahmen, die in palmaro- respektive plantaro-dorsalem Strahlengang erstellt worden waren. Mit der Computersoftware Metron PXTM wurden sowohl Längen und Breiten der einzelnen Zehenknochen, der Verlauf der Röhrbein- und Zwischenzehenachse als auch drei verschiedene Zehen-Gesamtlängen vermessen. Als Signifikanzniveau für die Längen- und Breitenvergleiche wurde eine Irrtumswahrscheinlichkeit von $P < 0.05$ festgelegt. Die Länge der Röhrbeinkondylen sowie der Fessel- und Kronbeine war an der lateralen Zehe generell grösser als an der medialen Zehe. Die Längendominanz der Knochen der lateralen Zehe fand sich, je nach Altersgruppe der untersuchten Tiere, an den Schultergliedmassen bei 65 bis 99 %, an den Hintergliedmassen bei 74 bis 95 % der untersuchten Zehen. Das Klauenbein war hingegen bei 68 % der untersuchten Zehen der Vorder- und 66 % der Hintergliedmassen an der medialen Zehe länger.

Von der Epiphysenfuge des Röhrbeines bis zum Klauengelenk gemessen (**Gesamtlänge 1**) war die laterale Zehe im Mittelwert signifikant länger als die mediale. Die **Gesamtlänge 2**, gemessen von der Epiphysenfuge des Röhrbeines bis zur Klauenbeinspitze, war an der lateralen Zehe ebenfalls grösser, der Längenunterschied fiel jedoch weitaus weniger regelmässig signifikant aus und war bei den Kälbern nicht vorhanden oder sogar gegenläufig. Die durch Addition der einzelnen Zehenknochen erhaltene **Gesamtlänge 3** war wiederum bei allen Altersgruppen an allen vier Gliedmassen im Mittelwert an der lateralen Zehe länger als an der medialen, wobei aber nicht bei allen das Signifikanzniveau erreicht wurde. Bei der **Gesamtlänge 3** konnte auf Höhe der Klauenbeinspitze bei 84 % der untersuchten Zehen der Schultergliedmassen und bei 88 % der unter-

suchten Beckengliedmassen eine längere laterale Zehe festgestellt werden. Somit kann geschlossen werden, dass die Mehrzahl der Rinder eine längere laterale Zehe besitzt. Der Längenunterschied wurde mit zunehmendem Alter deutlicher und war an den Beckengliedmassen stärker ausgeprägt. Ein kleiner Prozentsatz der Rinder hatte längere mediale oder gleich lange Zehen. Aus den Ergebnissen der vorliegenden Arbeit ergibt sich die Frage, ob nur Rinder mit einem deutlichen Längenunterschied eine anatomisch bedingte Prädisposition für Klauenerkrankungen aufweisen.

Die medialen Röhrbeinkondylen waren im Mittelwert an den Schulter-, aber nicht an den Beckengliedmassen breiter als die lateralen. Hinsichtlich der Breite von Fessel- und Kronbeinen konnte kein klarer Seitenunterschied gefunden werden, weil die Resultate sehr unterschiedlich ausfielen. Das Klauenbein der lateralen Zehe war generell breiter als dasjenige der medialen Zehe.

Der Fugenwinkel, welcher die Lage der Röhrbein- zur Zwischenzeheachse widerspiegelte, war bei den Rindern, Jung- und Altkühen an den Beckengliedmassen im Mittelwert grösser als an den Schultergliedmassen. Bei den Kälbern war die Verteilung umgekehrt. Röhrbein- und Zwischenzeheachse waren meist nicht identisch. Eine Verlängerung der Röhrbeinachse wich an den Hintergliedmassen häufiger und deutlicher zur lateralen Zehe hin ab.

2. Summary

The digits of ten calves, ten heifers, ten young adult and ten old cows were radiographed and measured to investigate whether the medial and lateral digits differ in length. Palmarodorsal and plantarodorsal digital radiographs were taken at postmortem. A computer software program (Metron PXTM) was used to measure the length and width of the first (P1), second (P2) and third (P3) phalanges, the course of the metacarpal/metatarsal and interdigital axes, and three different total bone lengths. A P-value of 0.05 was used as the level of significance for comparison of bone lengths and widths.

The metacarpal/metatarsal condyles and P1 and P2 were generally longer in the lateral digit than in the medial digit. Depending on the age group, the bones of the lateral digit were longer in 65 to 99% of the forelimbs and in 74 to 95% of the hind limbs. In contrast, P3 was longer in the medial digit of 68% of the forelimbs and in 66% of the hind limbs.

The mean distance from the epiphyseal groove to the distal interphalangeal joint (total length 1) was significantly greater in the lateral digit than in the medial. Except in calves, the mean distance from the epiphyseal groove to the tip of P3 (total length 2) was also greater in the lateral digit, but the difference was not always significant. In calves, total length 2 was greater in the medial digit or there was no difference between the two digits. The mean total length 3, which was determined by adding the lengths of all the pedal bones, was greater in the lateral digit in all four limbs and in all age groups, but the difference was not always significant. The total length 3 was greater in the lateral digit in 84% of forelimbs and in 88% of hind limbs. It can therefore be concluded that in the majority of cattle, the lateral digit is longer than the medial. This difference in length becomes more pronounced with age and is more prominent in the hind limb. In a small proportion of cattle, the medial digit is longer or both digits are

the same length. The results of this study lead to question whether only cattle with distinctly longer lateral digits are predisposed to certain claw diseases.

The medial metacarpal, but not the medial metatarsal condyles were broader than the lateral. No conclusions could be drawn with regard to the width of P1 and P2 because the results were highly variable and measurement errors attributable to radiographic projection could not be ruled out. The lateral 3rd phalanx was generally wider than the medial.

The physeal angle which reflected the direction of the metacarpal/metatarsal axes versus the interdigital axis was significantly larger in the hind limbs of heifers, young and older cows compared to the front limbs. In the calves, this distribution was reversed. The metacarpal/metatarsal axes and the interdigital axes were in most cases not identical. The metatarsal axis ran closer to the lateral digit of the hind limb in the majority of cases.

3. Einleitung und Zielsetzung

Wenn unter den heutigen Haltungsbedingungen Milchkühe getötet werden, liegt bei 40 % ursächlich eine Lahmheit zugrunde (THOMSEN et al. 2004). Fast 90 % der Erkrankungen des Bewegungsapparates bei Rindern sind im Klauenbereich zu finden. Bei Milchkühen erkranken weitaus am häufigsten die Aussenklauen der Beckengliedmassen. Der Grund für das hauptsächliche Auftreten von traumatischen Klauenerkrankungen, wie des Rusterholzschens Sohlengeschwürs oder der eitrig-hohlen Wand, an der lateralen Klaue der Beckengliedmasse ist nicht genau bekannt. Deswegen wurden mehrere Untersuchungen zur Klauengrösse und Klauenbelastung beim Rind durchgeführt (VAN DER TOL et al. 2002, VAN DER TOL et al. 2003, KEHLER und GERWING 2004, VAN DER TOL et al. 2004, PAULUS und NUSS 2006, MEYER et al. 2007). In diesen wurde festgestellt, dass die Aussenklauen der Beckengliedmassen grösser sind als die Innenklauen und auch im Vergleich mit den Innenklauen vermehrt belastet werden. Schwarzmann (2005) konnte bei Kälbern durch eine röntgenologische Untersuchung nachweisen, dass die laterale Zehe bis zum Klauengelenk länger war als die mediale Zehe (SCHWARZMANN 2005).

Basierend auf den erwähnten Untersuchungen wurde die Hypothese aufgestellt, dass bei Hausrindern zwischen lateraler und medialer Zehe ein Längenunterschied bis hinunter zur Klauenbeinspitze besteht. Deswegen sollten in dieser Arbeit die Zehenknochen und Röhrbeinkondylen der Schulter- und Beckengliedmassen von Rindern verschiedener Altersstufen röntgenologisch vermessen werden.

4. Literaturübersicht

4.1 Anatomie und Knochenmessungen an Meta- und Akropodium

4.1.1 Röhrbein

Die Ossa metacarpalia und metatarsalia, auch Hauptmittelfussknochen oder Röhrbeine genannt, sind das Verschmelzungsprodukt aus den embryologisch getrennt angelegten dritten und vierten Mittelfussknochen. Distal sind jedoch zwei zehentragende Gelenkwalzen, getrennt durch die Incisura intertrochlearis, ausgebildet. Jede von ihnen ist durch einen Sagittalkamm in eine schmale, weiter nach distal reichende axiale und in eine breitere abaxiale Gelenkfläche unterteilt (NICKEL et al. 2004).

Die Facies dorsalis der Ossa metacarpalia und -tarsalia ist gewölbt, wohingegen die Facies palmaris bzw. plantaris eben ist. Auf der Dorsal- und Palmar-/ Plantarfläche verläuft je ein Sulcus longitudinalis, distal und oft auch proximal verbunden durch einen Kanal, den Canalis metacarpi und metatarsi proximalis bzw. distalis.

Bartosiewicz (1997) fand in seinen Untersuchungen an mazerierten Röhrbeinen von Bullen und Ochsen einen an den Hintergliedmassen auf allen vier Knochen-seiten etwa gleich stark ausgeprägten Kortex. An den Schultergliedmassen war hingegen der laterale und mediale Kortex gegenüber dem dorsalen und plantaren Kortex dicker. Als mögliche Erklärung führte er die unterschiedlichen Funktionen der Vorder- und Hintergliedmassen auf. Während die Schultergliedmasse eine grössere Rolle für die Balance und Stabilität der Körperachse spielt, sei die Beckengliedmasse mehr für den Schwung in der Vorwärtsbewegung verantwortlich.

Das Röhrbein der Beckengliedmasse weist einen nahezu quadratischen Querschnitt auf, wohingegen dasjenige der Schultergliedmasse queroval ist (NICKEL et al. 2004).

Bartosiewicz (1997) untersuchte weiter das Verhältnis des medialen und lateralen Anteils der verschmolzenen Metapodien zueinander. Dazu mass er den Abstand der Sagittalkämme der Kondylen bis zu dem am weitesten lateral respektive medial gelegenen Punkt der Gelenkflächen. Sowohl an den Ossa metacarpalia als auch metatarsalia war der mediale Anteil grösser als der laterale. Der Breitenunterschied fiel an den Röhrebeinen der Schultergliedmassen deutlicher aus als an denjenigen der Beckengliedmassen.

Detaillierte Messungen der Röhrebeine und der Metakarpalkondylen führten Nacambo et al. (2004) sowie Nacambo (2005) an 42 Kälbern und 10 Kühen aus. Dazu wurden die Röhrebeine postmortal freipräpariert, transversal in zwei gleich grosse Hälften geschnitten und anschliessend manuell vermessen. Weiter wurden sie mit einer Digitalkamera fotografiert, die Bilder in das Software-Programm Metron PX™ (Firma Epona Tech, Creston, USA) geladen und die Messungen mit Hilfe dieser Computersoftware wiederholt. Vermessen wurden die mediale und laterale Gesamtlänge der Knochen sowie die Länge ihrer Gelenkwalzen. Zwischen den manuellen und den digitalen Messungen bestanden keine signifikanten Unterschiede (NACAMBO et al. 2004). Bezüglich der Röhrebeinlänge bestand ein Unterschied zwischen der Schulter- und der Beckengliedmasse. Die Ossa metacarpalia waren beinahe 2 cm kürzer als die Ossa metatarsalia, was einem Längenverhältnis der Ossa metacarpalia zu -tarsalia von 1:1.125 entsprach. Sowohl an der Vorder- als auch an der Hintergliedmasse der untersuchten Kälber war die laterale Knochenseite im Mittelwert signifikant länger als die mediale. Diese Längenasymmetrie konnte bei 83 der 84 untersuchten Metatarsalknochen festgestellt werden. Bei den untersuchten Ossa metacarpalia bestand eine solche Längendifferenz zugunsten der lateralen Seite nur bei knapp mehr als der Hälfte der untersuchten Röhrebeine (44/84), bei den restlichen untersuchten Ossa metacarpalia konnte entweder eine Längenasymmetrie zugunsten der medialen Seite (23/84) oder kein Längenunterschied (17/84) festgestellt werden.

Bei den von Nacambo (2004) untersuchten Kälbern konnte zusätzlich ein im Mittel längerer lateraler Kondylus gegenüber dem medialen Kondylus festgestellt werden, und dies sowohl an der Vorder- als auch an der Hintergliedmasse. Bei den zehn untersuchten Kühen wurde lediglich der Längenunterschied der Kondylen, nicht aber die Knochengesamtlänge bestimmt. Bei diesen Kühen bestand analog zu den Kälbern eine Längenasymmetrie zugunsten der lateralen Seite. Diese Differenz zwischen medialem und lateralem Kondylus war bei den Kühen ausgeprägter als bei den Kälbern.

Tab. 1: Durchschnittliche Röhrbeinlänge (in Zentimetern) bei 42 Kälbern unterschiedlichen Alters (Nacambo 2005)

Gliedmasse		Mediale Röhrbeinlänge	Laterale Röhrbeinlänge
Schultergliedmassen	links	16.71	16.77
	rechts	16.72	16.78
Beckengliedmassen	links	18.41	18.76
	rechts	18.42	18.80

Auch Paral et al. (2004) untersuchten frische und mazerierte Metakarpal- und Metatarsalknochen von gesunden Schlachtrindern verschiedener Altersklassen. Zudem wurden 40 Röhrbeine der Vorder- und Hintergliedmasse von Rindern, die aus 500 bzw. 1000 Jahre alten Fundstätten stammten, bezüglich der Länge der Ossa metacarpalia und Ossa metatarsalia beurteilt. Gemessen wurde die mediale und laterale Röhrbeingesamtlänge. Bei sämtlichen Ossa metatarsalia der drei Zeitperioden war die laterale Seite des Röhrbeines länger als die mediale Seite. Die Länge der Ossa metacarpalia variierte. Bei einigen Tieren war der mediale Anteil der Ossa metacarpalia kürzer, bei anderen länger als der laterale Anteil, zum Teil bestand kein Längenunterschied. Bei Tieren der heutigen Zeit waren die Metakarpal- und Metatarsalknochen gesamthaft länger als bei den Tieren aus dem Mittelalter, das Verhältnis der Knochenlänge der Schulter- zur Beckengliedmasse blieb innerhalb der letzten tausend Jahre jedoch annähernd

konstant. Dieses Verhältnis (PARAL et al. 2004) wurde aber nicht in Zahlen angegeben.

Schwarzmann (2005) vermäss die Klauen und Zehenknochen von 40 Kälbern röntgenologisch. Die Tiere gehörten der Rasse des Deutschen Fleckviehs an und wiesen ein Durchschnittsalter von 75 Tagen (1-182 Tage) auf. Es wurden Röntgenbilder in palmaro-/ plantarodorsaler Strahlenrichtung erstellt, diese anschliessend digitalisiert und mit der Computersoftware Metron PX™ (Firma Epona Tech, Creston, USA) ausgewertet. Gemessen wurden die Länge der Röhrbeinepiphysen, die Knochenlängen der Phalangen mit Ausnahme des Klauenbeins und ein möglicher Niveauunterschied der beiden Zehen im Gelenkbeereich. An allen vier Gliedmassen fand Schwarzmann (2005) eine längere laterale Metakarpus- beziehungsweise Metatarsusepiphyse als medial.

Tab. 2: Länge der Röhrbeinepiphyse (in Millimetern) an Schulter- und Beckengliedmassen von Kälbern < 7 Wochen (Schwarzmann 2005).

Gliedmasse		N	Mittelwert	Standardabweichung	Min.	Max.
Schultergliedmassen	lateral	33	34.81	4.02	27.8	43.9
	medial	33	34.02	3.85	28.3	43.5
Beckengliedmassen	lateral	34	36.20	3.71	25.8	45.8
	medial	34	34.00	3.48	24.3	41.5

N = Anzahl untersuchter Röhrbeine, Min. = Minimum, Max. = Maximum.

Tab. 3: Länge der Röhrbeinepiphyse (in Millimetern) an Schulter- und Beckengliedmassen von Kälbern >7 Wochen (Schwarzmann 2005).

Gliedmasse		N	Mittelwert	Standardabweichung	Min.	Max.
Schultergliedmassen	lateral	42	36.45	4.35	27.1	47.6
	medial	42	35.71	4.22	28.1	46.0
Beckengliedmassen	lateral	43	38.89	4.81	27.8	48.2
	medial	43	37.01	4.63	27.5	46.4

N = Anzahl untersuchter Röhrbeine, Min. = Minimum, Max. = Maximum.

Nacambo (2005) und Schwarzmann (2005) diskutierten, dass in der Asymmetrie der Röhrbeinkondylen eine mögliche Antwort auf die Frage, wieso sich die beiden Klauen einer Gliedmasse unterschiedlich entwickeln und die lateralen Klauen der Beckengliedmasse für Erkrankungen prädisponiert sind, liegen könnte.

4.1.2 Ossa sesamoidea proximalia

Jedes Fesselgelenk verfügt palmar/plantar über vier Sesambeine. Über den M. interosseus sind sie mit dem Röhrbein, über die Sesambeinbänder mit der Phalanx proximalis verbunden. Die glatte Dorsalfläche der Sesambeine vervollständigt die Fesselgelenkgrube (NICKEL et al., 2004). Červený (1985) untersuchte die proximalen Sesambeine von 18 Kühen und 5 Stieren im Alter von 2-12 Jahren sowohl röntgenologisch als anschliessend auch anatomisch. Er stellte fest, dass im Röntgenbild der unbelasteten Gliedmasse die abaxialen Sesambeine weiter distal zu liegen kamen als die axialen. Dieses Phänomen war beim abaxialen Sesambein der Ossa metacarpalia/ -tarsalia IV ausgeprägter als bei denjenigen der Ossa metacarpalia/ -tarsalia III, sowie an der Vordergliedmasse deutlicher zu erkennen als an der Hintergliedmasse.

4.1.3 Fesselbein

Das Fesselbein wird auch als Phalanx proximalis oder Os compedale bezeichnet. Es ist ein zylindrischer Knochen mit einer flachen Palmar- bzw. Plantarfläche und zwei mehr dorsal gelegenen Seitenflächen. Die Fovea articularis ist die proximale Gelenkfläche des Fesselbeines, welche durch eine Sagittalrinne in zwei Flächen geteilt wird. Die schmalere, axiale Fläche liegt dabei weiter distal als der abaxiale Anteil der Gelenkfläche. Palmar bzw. plantar befindet sich beidseits eine Gelenkfläche für die Sesambeine. Die proximalen Bandhöcker ragen palmar/plantar hervor und bilden zwischen sich eine Rinne. In der Knochenmitte liegt an der Palmar-/ Plantarfläche ein kleiner Höcker für das Halteband der

Beugesehnen (NICKEL et al. 2004). Die distal gelegene Gelenkwalze des Fesselbeines hat die Form eines schräg stehenden Sattels, dessen kleinere axiale Fläche, analog wie bei der Fovea articularis, weiter distal gelegen ist. Beidseits der Gelenkwalze sind flache Bandgruben ausgebildet. Gemäss Ranft (1936) ist die axiale Bandgrube wesentlich tiefer als die laterale.

Schwarzmann (2005) stellte fest, dass die Fesselbeine bei Tieren im Alter von mehr als 7 Wochen an der Beckengliedmasse signifikant länger als an der Schultergliedmasse waren. Auch Ranft (1936) fand an der Hintergliedmasse von Rindern verschiedenen Alters längere und schlankere Fesselbeine. Bei Tieren unter 7 Wochen konnte Schwarzmann (2005) einen solchen Längenunterschied jedoch nicht feststellen.

Tab. 4: Länge der Fesselbeine (in Millimetern) an Schulter- und Beckengliedmassen von Kälbern < 7 Wochen (Schwarzmann 2005).

Gliedmasse		N	Mittelwert	Standardabweichung	Min.	Max.
Schultergliedmassen	lateral	33	40.46	4.49	32.9	50.8
	medial	33	39.38	4.35	32.0	49.1
Beckengliedmassen	lateral	34	40.89	4.02	31.2	47.8
	medial	34	40.05	3.75	29.9	46.3

N = Anzahl untersuchter Röhrbeine, Min. = Minimum, Max. = Maximum.

Tab. 5: Länge der Fesselbeine (in Millimetern) an Schulter- und Beckengliedmassen von Kälbern > 7 Wochen (Schwarzmann 2005).

Gliedmasse		N	Mittelwert	Standardabweichung	Min.	Max.
Schultergliedmassen	lateral	42	43.94	5.65	35.1	60.2
	medial	42	42.86	5.47	33.9	59.1
Beckengliedmassen	lateral	43	46.73	5.37	33.9	60.1
	medial	43	45.24	5.40	33.9	58.1

N = Anzahl untersuchter Röhrbeine, Min. = Minimum, Max. = Maximum.

Die Fesselbeine der lateralen Zehen erwiesen sich in den Messungen von Schwarzmann (2005) an allen vier Gliedmassen als länger gegenüber denjenigen der medialen Gliedmasse (Tab. 4 und Tab. 5).

Bei Ranft (1936) war in 70 bis 75 % der Fälle die axiale Höhe der lateralen Knochen grösser als die entsprechende Höhe der medialen Seite. Weiter stellte er fest, dass die Fesselbeine der dritten Zehe kräftiger entwickelt waren als die der vierten.

4.1.4 Kronbein

Das Kronbein, Phalanx media oder Os coronale, ist im Aufbau dem Fesselbein ähnlich, jedoch kürzer als dieses. Durch den schmalen Dorsalrand haben die Kronbeine eine mehr dreiseitige Form. Die Kronbeine der Schultergliedmassen nähern sich der Würfelform gemäss Ranft (1936) mehr an als diejenigen der Beckengliedmassen.

Die dorsale Berandung der proximalen Gelenkfläche, Fovea articularis, ist zum Processus extensorius ausgezogen. Dieser Kronbeinfortsatz überragt die Gelenkfläche lehnenartig und bildet so die Stütze für das Fesselbein. Palmar bzw. plantar verdickt sich der Rand zur Kronbeinlehne, Tuberositas flexoria. Seitlich von dieser Knochenverdickung ragen die proximalen Bandhöcker nach palmar bzw. plantar, wobei der abaxiale grösser ist als der axiale. Die distal gelegene sattelförmige Gelenkwalze ist in eine schmale axiale und eine breitere abaxiale Gelenkfläche gegliedert. Diese Gelenkfläche erstreckt sich sowohl dorsal als auch palmar bzw. plantar bis weit nach proximal. An der Schultergliedmasse endet sie dorsal spitz, an der Beckengliedmasse hingegen oval. Der Abstand der Spitze der Gelenkwalze zum Processus extensorius ist an der Hintergliedmasse grösser als an der Vordergliedmasse.

Ranft untersuchte im Jahr 1936 die Kronbeine von 28 Tieren unterschiedlichen Alters und Geschlechtes (5 Kälber, 12 Kühe, 6 Ochsen und 5 Bullen). Gemäss

seinen Untersuchungen sind die Kronbeine der Hintergliedmasse schlanker und länger als diejenigen der Vordergliedmasse. Auch Schwarzmann (2005) fand, dass die Kronbeine von über 7 Wochen alten Kälbern an der Hintergliedmasse signifikant länger waren als an der Vordergliedmasse (durchschnittliche Kronbeinlänge 31.7 mm versus 29.6 mm). Den Messungen von Ranft (1936) zufolge stellten sich die Kronbeine der vierten, lateralen Zehe etwas schlanker als diejenigen der medialen Zehe dar. Er hielt fest, dass die Kronbeine der vierten Zehe oft länger waren als diejenigen der dritten. Umgekehrt verhielt es sich mit der ebenfalls von ihm untersuchten Gelenkfläche. Diese war am Kronbein der dritten Zehe größer als an der vierten.

Nach den Messresultaten von Schwarzmann (2005) unterschieden sich das mediale und laterale Kronbein der kontralateralen Gliedmassen nicht in ihrer Länge.

4.1.5 Ossa sesamoidea distalia

Die Sesambeine der Klauengelenke sind platt und oval ausgebildet. Die Gelenkfläche ist konkav und trägt einen hohen Sagittalkamm, die konvexe Palmar- bzw. Plantarseite verfügt nur über einen niedrigen Sagittalkamm. Die Klauensesambeine stehen sowohl mit dem Kronbein als auch mit dem Klauenbein in Kontakt und vergrößern dadurch die Gelenkfläche des Klauengelenkes. Zusätzlich dienen sie als Umlenkrollen für das Endstück der tiefen Beugesehne (NICKEL et al. 2004).

4.1.6 Klauenbein

Das Klauenbein, Phalanx distalis oder Os ungulare, hat die Form des Klauenschuhs. Bei Kälbern ähnelt es annähernd einem gleichschenkligen Dreieck. Bei adulten Rindern verändert sich diese Form, da sich in Folge der Längenzunahme

der Sohlenfläche und der Dorsalseite im Verhältnis dazu die Höhe nach hinten verschiebt.

Man unterscheidet am pyramidenförmigen Klauenbein drei zueinander angeordnete Flächen, die als Wand-, Sohlen- und Gelenkfläche bezeichnet werden. Der Sohlenrand, Margo solearis, wird am Übergang von der Wandfläche in die Sohlenfläche gebildet. Im Kronrand, Margo coronalis, stossen Wand- und Gelenkfläche aufeinander. Vom Kronrand ausgehend erstreckt sich dorsoaxial der Streckfortsatz, Processus extensorius, nach proximal (NICKEL et al. 2004).

Die auch als Facies parietalis bezeichnete Wandfläche wird unterteilt in eine gewölbte Aussenfläche, Facies abaxialis, und eine nur schwach ausgehöhlte Klauenspaltfläche, Facies axialis. Diese beiden Flächen treffen im breiten, abgerundeten Dorsalrand aufeinander (NICKEL et al. 2004), welcher sich von der Klauenbeinspitze bis zum Streckfortsatz erstreckt.

Die Wandrinne, Sulcus parietalis, verläuft beidseits der Facies parietalis und endet palmar im Foramen abaxiale, dem so genannten Wandloch. Zusammen mit dem an der Klauenspaltfläche gelegenen Klauenspaltloch, Foramen axiale, und weiteren Löchern der Wandfläche stellt es die Öffnungen für das blutgefässführende Kanalsystem im Knocheninneren dar (NICKEL et al. 2004). Die Gefässlöcher nehmen mit zunehmendem Alter der Tiere an Grösse zu (SIMON 1963).

Die auch als Facies solearis bezeichnete Sohlenfläche fällt mit ihrem Planum cutaneum dachartig nach aussen ab. Ihr palmares bzw. plantares Ende ist zum Tuberculum flexorium verdickt und dient als Ansatzstelle für die tiefe Beugesehne. Die Gelenkfläche, Facies articularis, ist der Form der Kronbeinwalze entsprechend ausgehöhlt und besitzt palmar bzw. plantar eine schmale Facies articularis sesamoidea.

Simon (1963) untersuchte den Klauenbeinwinkel bei 59 Kühen im Alter von 4 bis 14 Jahren. Bei 33 der untersuchten Tiere bestand kein Unterschied zwischen dem Winkel an der Vorder- und dem der Hintergliedmasse. Bei den restlichen 26 Kühen (44 %) waren die Klauenbeine der Beckengliedmasse um 1-5° steiler

als diejenigen der Schultergliedmasse. Der durchschnittliche Klauenbeinwinkel an der Vordergliedmasse betrug 34.7° , der entsprechenden Winkel der Hintergliedmasse 35.4° .

Weiterhin untersuchte Simon (1963) die altersbedingten Veränderungen der Klauenbeine bei 160 Kälbern, Rindern, Kühen und Bullen an anatomischen Präparaten. Als Klauenbeinlänge definierte Simon (1963) die Strecke zwischen der Klauenbeinspitze und dem von ihm bezeichneten „medialen Winkel der Facies flexoria“ des Klauenbeines. Er kam zum Ergebnis, dass die Klauenbeine der Vordergliedmasse länger und grösser waren als diejenigen der Hintergliedmasse und dass die medialen Klauenbeine der Vordergliedmasse zudem länger und grösser waren als die lateralen. Zum gleichen Ergebnis bezüglich des Grössenverhältnisses zwischen den Klauenbeinen der Schulter- und der Beckengliedmasse kam Ranft (1936). Bei den von ihm untersuchten Zehenknochen von 28 Tieren fand er in 75 bis 85 % der Fälle an der medialen Zehe der Vordergliedmasse das längere Klauenbein. An den Hintergliedmassen konnte Ranft (1936) keinen solchen Unterschied feststellen. Die Klauenbeine von Kälbern verhielten sich gemäss Ranft (1936) umgekehrt zu denjenigen von adulten Tieren, das heisst diejenigen der Schultergliedmassen waren kleiner als die der Beckengliedmassen. Auch Schwarzmann (2005) mass an den Klauenbeinen die drei Parameter Dorsalwandlänge, Sohlenlänge und Höhe. Bei allen vier Gliedmassen waren diese Messwerte für die mediale Klaue signifikant grösser als für die laterale. Schwarzmann fertigte konventionelle Röntgenbilder an, die eingescannt und digitalisiert wurden. Sie musste wegen der schlechten Qualität der abgebildeten Klauenbeine auf Messungen an der distalen Phalanx an den im palmaro-/plantarodorsalen Strahlengang angefertigten Aufnahmen verzichten.

Altersabhängige Formveränderungen fand Simon (1963) vor allem am *Processus extensorius*, aber auch am *Tuberculum flexorium*.

4.1.7. Längenunterschied bis zum Klauengelenk

Schwarzmann (2005) stellte einen Niveauunterschied in Bereich der Gelenke zwischen den beiden Zehen einer Gliedmasse fest. Dieser fand sich bei 79.6 % der untersuchten Zehen im Fesselgelenk und nahm zum Klauengelenk hin deutlich zu. Im letztgenannten Gelenk bestand er bei 92.7 % der vermessenen Zehen. Der Höhenunterschied war an der Hintergliedmasse ausgeprägter als an der Vordergliedmasse. Eine Altersabhängigkeit dieses Höhenunterschiedes im Gelenkbereich zwischen den beiden Zehen einer Gliedmasse fand Schwarzmann (2005) nicht. Sie warf die Frage auf, ob der zwischen den Zehenknochen bestehende Längenunterschied durch den Hornschuh und seine inneren Strukturen wieder ausgeglichen werden könnte. Sie wies an der medialen Zehe eine grössere Dorsalwand sowohl am Hornschuh als auch am Klauenbein nach. Weiter stellte Schwarzmann dar, dass der Längenunterschied zwar an der Schultergliedmasse, nicht jedoch an der Beckengliedmasse nahezu ausgeglichen wurde.

4.2 Messgenauigkeit

Vargas (2004) untersuchte im Rahmen seiner Dissertation die Genauigkeit und Reproduzierbarkeit von Messungen an digitalisierten Röntgenbildern mit dem Computermessprogramm Metron PXTM. Die Genauigkeit der Messungen wurde bei verschiedenen Vergrößerungen sowie anhand von wiederholten Messungen durch die gleiche oder verschiedene Personen untersucht. Dazu verwendete Vargas (2004) zwei linke Vorderhufe von zwei orthopädisch gesunden Pferden, die aus medizinischen Gründen euthanasiert wurden. Von diesen Gliedmassen wurden Röntgenbilder in verschiedenen Ebenen angefertigt, in die Computersoftware Metron PXTM importiert und mit dessen Hilfe ausgemessen.

Bei einer Vergrößerung der Bilder auf 150 % der Originalgrösse erwies sich der Variationskoeffizient deutlich geringer als bei einer Verkleinerung der Bilder

auf 75 %. In dieser Untersuchung war die Reproduzierbarkeit der Messresultate durch die gleiche ausmessende Person gegeben. Dies galt nicht für Winkelmessungen am Röntgenbild. Diese zeigten bei wiederholtem Ausmessen durch dieselbe Person eine grosse Variabilität. Es konnte gezeigt werden, dass verschiedene Personen am selben Röntgenbild zum Teil zu unterschiedlichen Messergebnissen kamen, dass aber in der Regel eine gute Wiederholbarkeit der Resultate durch unterschiedliche Personen erzeugt werden konnte.

Kummer et al (2004) hielten fest, dass zur Ausmessung von Röntgenbildern des Pferdehufes nicht nur ein gutes Messprogramm notwendig war, sondern auch eine standardisierte Röntgentechnik. Schwarzmann (2005) untersuchte die Vergrösserung der natürlichen Abmessungen auf dem Röntgenbild. Dazu fertigte sie 60 Röntgenbilder mit Metalldrähten definierter Länge in Höhe der zu röntgenden Gliedmasse an und mass anschliessend die sich daraus ergebende Verzerrung des Röntgenschattens des Drahtes. Sie stellte fest, dass der Draht in Höhe des Fesselbeines durchschnittlich um 7.2% vergrössert wurde, derjenige am Kronbein um 7.4% sowie der am Klauenbein um 3.0 %.

5. Material und Methodik

5.1 Tiere und Präparate

In der vorliegenden Arbeit wurden die Metapodien und Akropodien (Metakarpus/ -tarsus und Zehen) von 40 gliedmassengesunden Hausrindern aus vier verschiedenen Alterskategorien – Kälber, Rinder, Jungkühe und Altkühe – untersucht. Eine Kategorie umfasste jeweils 10 Tiere, so dass gesamthaft 160 Füße zur Untersuchung vorhanden waren. Wies ein Fuss oder eine Klaue eines Tieres pathologische Veränderungen – beispielsweise ein Sohlengeschwür oder eine Limax – auf, wurden alle vier Gliedmassen verworfen.

In der Regel wurden die Vorderfüsse durch eine Exartikulation im Karpus, meist im Mediokarpalgelenk, vom proximalen Anteil der Gliedmasse getrennt. In einigen Fällen wurden sie auch mittels einer Säge im proximalen Anteil des Röhrebeines abgesetzt. An den Beckengliedmassen wurden die Füße jeweils im Röhrebein, unmittelbar distal des Tarsus, abgesägt.

5.1.1 Kälber

Die Füße der zur Untersuchung verwendeten zehn Kälber wurden vom Institut für Veterinärpathologie der Vetsuisse-Fakultät der Universität Zürich bezogen. Diese Kälber waren entweder an einer Krankheit gestorben oder mussten wegen einer Erkrankung der inneren Organe euthanasiert werden. Es handelte sich um Kälber verschiedener Rassen (Braunvieh, Aberdeen Angus, Fleckvieh, Rotfleck, Limousin) mit einem Durchschnittsalter von 16.4 Tagen (Minimum 1, Maximum 42 Tage; Tab. 6). Es handelte sich um 6 weibliche und 4 männliche Tiere. Sie wogen zwischen 25 kg und 72 kg, durchschnittlich 46.9 kg.

Tab. 6: Tiernummer, Geschlecht, Gewicht, Alter, Rasse und Todesursache der 10 untersuchten Kälber.

Tiernummer	Geschlecht	Gewicht (kg)	Alter (Tage)	Rasse	Todesursache
1	m	43	14	RF	Unbekannt
2	w	25	1	AA	Atemprobleme
3	m	50	12	MM	Durchfall
4	m	72	28	BV	Tympanie
5	m	48	28	BV	Ileus
6	w	44	1	BV	Totgeburt
7	w	64	42	BV	SMA
8	w	34	7	RU	Unbekannt
9	w	49	30	RF/LI	Pneumonie
10	w	40	1	RF	Unbekannt

m = männlich, w = weiblich, BV = Braunvieh, AA = Aberdeen Angus, RF = Rotfleck, LI = Limousin, MM = Mast-Mix, RU = Rasse unbekannt, SMA = Spinale Muskelatrophie.

5.1.2 Rinder

In die Kategorie der Rinder wurden Tiere im Alter zwischen 10 und 18 Monaten aufgenommen. Die Gliedmassen von fünf Tieren stammten vom Institut für Veterinärpathologie der Vetsuisse-Fakultät der Universität Zürich, die Phalangen weiterer fünf Tiere wurden aus dem Schlachthof Zürich bezogen. Die am Tierhospital gesammelten Präparate stammten von Tieren, die an einer Erkrankung der inneren Organe starben oder deswegen euthanasiert werden mussten. Es handelte sich zur Hälfte um weibliche und zur Hälfte um kastrierte männliche Tiere (Tab. 7). Verschiedene Rassen waren vertreten, so die Braunvieh- (3 Rinder), Limousin- (1 Rind) und Aberdeen-Angus-Rasse (1 Rind). Bei 5 Rindern war die Rassezugehörigkeit nicht bekannt. Das Schlachtgewicht der aus dem Schlachthof Zürich stammenden Tiere wird in Tab. 7, Spalte 3 *kursiv* angegeben, bei den anderen Angaben handelt es sich um das Lebendgewicht.

Tab. 7: Tiernummer, Geschlecht, Gewicht (*Schlacht-* oder Lebendgewicht), Alter, Rasse und Todesursache der 10 untersuchten Rinder.

Tiernummer	Geschlecht	Gewicht (kg)	Alter (Monate)	Rasse	Todesursache
11	w	350	16	BV	MD/VD
12	w	390	18	BV	MD/VD
13	mk	<i>306</i>	<18	RU	Schlachtung
14	mk	<i>290</i>	<18	RU	Schlachtung
15	mk	<i>304</i>	<18	RU	Schlachtung
16	mk	<i>280</i>	<18	RU	Schlachtung
17	w	268	12	LI	Hepatitis
18	w	240	10	BV	Unbekannt
19	w	334	11	AA	Vaginalverletzung
20	mk	<i>247</i>	<18	RU	Schlachtung

mk = männlich-kastriert, w = weiblich, RU = Rasse unbekannt, BV = Braunvieh, AA = Aberdeen Angus, LI = Limousin, MD/VD = Mucosal Disease/ Virus Diarrhö.

5.1.3 Jungkühe

Zu den Jungkühen zählten weibliche Tiere, die jünger als 2.5 Jahre alt waren. Sie waren zum Zeitpunkt der Tötung mindestens 8 Monate trächtig oder hatten bereits einmal abgekalbt. Die Gliedmassen von sechs der zehn benötigten Tiere konnten am Schlachthof Zürich bezogen werden. Die Gliedmassen der restlichen Tiere stammten von Rindern, die an der Klinik für Nutztiere der Vetsuisse-Fakultät der Universität Zürich aus einem anderen Grund getötet werden mussten (Tab. 8). Eine Jungkuh wurde wegen einer Tibiafraktur getötet, alle anderen Tiere waren gliedmassengesund. Lediglich eine der verwendeten Jungkühe wurde euthanasiert, alle anderen wurden geschlachtet. Bei 6 der 10 Tiere war die Rasse unbekannt, bei den restlichen Jungkühen handelte es sich um Tiere der Rassen Braunvieh, Rotfleck und Jersey. Das Schlachtgewicht wird in Tab. 8, Spalte 2 *kursiv* angegeben, bei den anderen Gewichtsangaben handelt es sich um das Lebendgewicht.

Tab. 8: Tiernummer, Gewicht (*Schlacht-* oder Lebendgewicht), Alter, Rasse und Todesursache der 10 untersuchten Jungkühe.

Tiernummer	Gewicht (kg)	Alter (Monate)	Rasse	Trächtig- keitsmonat	Todesursache
21	245	<30	RU	Abgekalbt	Schlachtung
22	272	<30	RU	Abgekalbt	Schlachtung
23	255	23	BV	9	Schwergeburt
24	215	25	RF	8.5	LLV
25	163	29	JE	8	Tibiafraktur
26	191	<30	RU	Abgekalbt	Schlachtung
27	277	<30	RU	Abgekalbt	Schlachtung
28	312	<30	RU	Abgekalbt	Schlachtung
29	281	<30	RU	Abgekalbt	Schlachtung
30	588	28	BV	8	Haubenabszess

RU = Rasse unbekannt, BV = Braunvieh, RF = Rotfleck, JE = Jersey, LLV = Linksseitige Labmagenverlagerung.

5.1.4 Altkühe

Unter der Kategorie Altkühe wurden weibliche Tiere, die mindestens einmal abgekalbt hatten und älter als 30 Monate waren, zusammengefasst. Die Zehen stammten von einem Tier aus dem Institut für Veterinärpathologie der Vetsuisse-Fakultät der Universität Zürich, von vier weiteren Tieren vom Schlachthof Zürich und die restlichen Gliedmassen stammten von Tieren, die am Tierspital Zürich im Rahmen eines Versuches geschlachtet wurden. Es handelte sich um fünf Braunvieh-Kühe, eine Rotfleck-Kuh und vier weitere Tiere unbekannter Rasse (Tab. 9). Alle in die Untersuchung einbezogenen Altkühe waren zum Zeitpunkt der Tötung lahmheitsfrei.

Tab. 9: Tiernummer, Gewicht (*Schlacht-* oder Lebendgewicht), Alter, Rasse und Todesursache der 10 untersuchten Altkühe.

Tiernummer	Gewicht (kg)	Alter (Jahre)	Rasse	Todesursache
31	722	4.5	BV	Schlachtung
32	760	6.5	BV	Schlachtung
33	272	>2.5	RU	Schlachtung
34	283	>2.5	RU	Schlachtung
35	244	>2.5	RU	Schlachtung
36	244	>2.5	RU	Schlachtung
37	748	5	BV	Schlachtung
38	568	5.5	BV	Schlachtung
39	615	3	BV	Schlachtung
40	301	3.5	RF	Torsio uteri

BV = Braunvieh, RU = Rasse unbekannt, RF = Rotfleck.

5.2 Vorbereitung und Zuordnung der Präparate

Die Klauen wurden je nach Verschmutzungsgrad von Hand mit einer Bürste unter fliessendem Wasser oder mit dem Hochdruckreiniger gesäubert und anschliessend getrocknet. Es wurde keine Klauenpflege durchgeführt, das heisst, sämtliche Hornschuhe wurden in dem vorgefundenen Zustand belassen. Bis zum Versuchsbeginn wurden die Zehen bei minus 20°C in einem Gefrierraum gelagert und anschliessend über Nacht aufgetaut und abgetrocknet. Artefakte durch Verschmutzung oder Wasser auf den später angefertigten Röntgenbildern sollten hierdurch vermieden werden.

Jeder Fuss eines Tieres wurde der entsprechenden Schulter- oder Beckengliedmasse zugeordnet. Dazu wurde auf das Vorhandensein des M. extensor digitalis brevis, der nur an den Beckengliedmassen angelegt ist, geachtet. Ein weiteres Unterscheidungsmerkmal zwischen Zehen der Vorder- und der Hintergliedmasse bestand darin, dass die Mittelfussknochen der Beckengliedmassen länger als die der Schultergliedmassen sind. Weiterhin diente als Merkmal, dass der Quer-

schnitt der Ossa metatarsalia rundlich bis längsoval ist, während derjenige der Ossa metacarpalia im Querschnitt mehr queroval ist. Zusätzlich konnte an den Schultergliedmassen bei vielen Tieren unmittelbar distal vom Karpus noch die vermehrte Verhornung der Haut sowie haarlose Stellen, die durch das Aufstehen und Abliegen der Tiere bedingt waren, festgestellt werden. Als Unterscheidungshilfe zwischen linker und rechter Gliedmasse wurde der Verlauf der Strecksehnen zu Hilfe genommen. Diese verlaufen dorsolateral des Röhrebeines und erlauben so eine Zuordnung zur linken und rechten Gliedmasse. Als zusätzliches Kriterium dienten die proximalen Gelenkflächen der Röhrebeine, da an den Ossa metacarpalia die mediale Gelenkfläche deutlich breiter ist als die laterale. An den Beckengliedmassen half die Klauengrösse bei der Unterscheidung, da die Gelenkflächen der Ossa metatarsalia weniger gut zwischen lateral und medial unterscheiden liessen. Die laterale Klaue weist oft eine grössere Fussungsfläche auf als die mediale.

5.3 Röntgenologische Untersuchung

Die digitalen Röntgenbilder wurden mit einem fahrbaren Röntgengerät (Firma Gierth HF 200) angefertigt. Verwendet wurden Röntgenkassetten (IP Cassette Type 3A, Fuji) unterschiedlicher Grössen. Für die Kälberfüsse kamen Kassetten mit den Massen 24x30 cm zum Einsatz, für alle anderen Alterskategorien wurden Röntgenkassetten mit einem Format von 30x40 cm verwendet. Die Röntgenkassetten wurden bei allen Tieren mit der Längsseite parallel zur Gliedmassenachse ausgerichtet. Damit die Rückstrahlung vom Boden vermieden wurde, wurden die Kassetten während des Röntgens auf einer Bleischürze platziert.

Jeweils die beiden Vorder- oder Hinterfüsse eines Tieres wurden mit der Dorsal- seite nach unten auf eine Röntgenkassette gelegt und in gestreckter Position fixiert. Zur Fixation wurde Knetmasse verwendet, welche die Füsse auf Höhe des

proximalen Anteils des Röhrebeines in Position hielt. Diese Knetmasse war im anschliessend angefertigten Röntgenbild zwar sichtbar, behinderte aber die Ausmessung der Bilder nicht, da sie ausserhalb des zu vermessenden Bereiches lag. Die Identifikationsnummer eines jeden Tieres wurde mit röntgendichten Zeichen auf der Kassette platziert.

Die laterale Seite des jeweiligen Fusses wurde mit Seitenzeichen markiert, R für das rechte und L für das linke Bein. Mit den Zeichen „vorne“ und „hinten“ wurden Schulter- respektive Beckengliedmassen gekennzeichnet. Zwischen den beiden Füßen wurde, mit Hilfe von Bauklötzen, ein Bleimassstab mit Zentimeterskala auf Knochenhöhe angebracht.

Die Röntgenaufnahmen wurden in palmarodorsaler respektive plantarodorsaler Aufnahmerichtung angefertigt. Für die Kälber wurden als Expositionswerte 56 kV, 30 mA und 0.2 sec verwendet, währenddem bei den Rindern, Jung- und Altkühen mit 70 kV, 25 mA und 0.2 sec gearbeitet wurde. Der Film-Fokus-Abstand betrug stets 115 cm, der Zentralstrahl wurde auf Höhe des Krongelenkes genau zwischen die beiden Präparate gerichtet.

Die Bilder wurden mit Hilfe des Einlesestation FCR AC-3CS der Firma Fuji (1996) und einer Computersoftware von Philips (2005) digital entwickelt.

5.4 Messungen an den Röntgenbildern

Die angefertigten Röntgenbilder existierten nur in digitaler Form. Sie wurden auf Compact Discs abgespeichert und anschliessend in das Computermessprogramm importiert. Die Messungen an den digitalisierten Röntgenbildern wurden mit Hilfe des Computerprogramms Metron PXTM Version Nr. 3.03 der Firma Epona Tech, Creston, USA, durchgeführt.

Zur Durchführung der Messungen wurden die Röntgenbilder der Kälber auf 200%, diejenigen der Rinder, Jung- und Altkühe auf 150% ihrer Originalgrösse

vergrössert. Zu Beginn wurde mit Hilfe des auf dem Röntgenbild abgebildeten Bleimassstabes definiert, welche Knochenlänge im Röntgenbild einem Zentimeter im Originalpräparat entsprach. Da das Messprogramm Metron PXTM keine europäischen Längeneinheiten offerierte, musste 1 „Inch“ als 1 cm definiert werden.

Durch Beurteilung der Lage der Röhrbeinscheidewand im Röntgenbild wurde vor Messbeginn noch einmal die Zugehörigkeit zur jeweiligen Gliedmasse sichergestellt.

5.4.1 Mittel- und Grundlinie

Zu Messbeginn wurde als Erstes eine Mittellinie zwischen den Zehen bestimmt, die als Längshauptachse zur Festlegung weiterer Messpunkte dienen konnte. Drei Varianten wurden untersucht:

Bei der Ersten wurde als Mittellinie die Röhrbeinlängsachse verwendet. Rechtwinklig zu dieser Linie wurde im Bereich der Epiphysenfuge eine weitere Grundlinie eingezeichnet, die als Ausgangsgerade für die Längenmessung dienen sollte. Es stellte sich jedoch heraus, dass die Röhrbeinlängsachse bei vielen Tieren nicht mit der Zehenachse übereinstimmte. Die rechtwinklig dazu gezogene Grundlinie wich dabei oft vom Epiphysenfugenverlauf ab.

Als zweite Variation wurde geprüft, die Grundlinie für die Längenmessungen durch die Epiphysenfuge zu legen. Anschließend sollte rechtwinklig dazu eine Linie durch die Incisura intertrochlearis des Röhrbeines gelegt und diese neue Linie als Mittellinie verwendet werden. Diese zweite Methode war für Kälber und Rinder sehr gut und stimmte gut mit der Zehenachse überein. Sie erwies sich jedoch bei vielen Jung- und vor allem bei den Altkühen als unbrauchbar, da der Epiphysenfugenverlauf nur noch ungenügend erkennbar war und die Linie somit nicht sicher festgelegt werden konnte.



1a



1b



1c

Abb. 1 a: Methode 1 zur Bestimmung der Mittel- und Grundlinie an der linken Hintergliedmasse eines 42 Tage alten, weiblichen Kalbes.

Abb. 1 b: Methode 2 zur Bestimmung der Mittel- und Grundlinie an der linken Hintergliedmasse eines 42 Tage alten, weiblichen Kalbes.

Abb. 1 c: Tatsächlich durchgeführte Methode 3 zur Bestimmung der Mittel- und Grundlinie an der linken Hintergliedmasse eines 42 Tage alten, weiblichen Kalbes.

Bei der dritten Variante wurden zuerst die Spitzen des lateralen und medialen Klauenbeines einer Gliedmasse durch eine Linie miteinander verbunden. Die Mitte dieser Strecke wurde bestimmt und ausgehend davon eine Gerade nach proximal durch die Incisura intertrochlearis des Röhrbeines gelegt. Rechtwinklig zu dieser erhaltenen Geraden wurde, in Höhe des am weitesten distal gelegenen Punktes des lateralen Anteiles der Wachstumszone, eine weitere Linie bis zur

medialen Seite des Röhrbeines gelegt. Auf diese Art und Weise konnte auch bei älteren Tieren, bei denen die Wachstumsfuge verknöchert war, eine Linie durch den Bereich der Epiphysenfuge gelegt werden, sodass ihr Verlauf mit derjenigen bei anderen Tieren übereinstimmte.

Diese dritte Variante wurde deswegen für die Messungen ausgewählt. Ausschlaggebend für die Wahl dieser Methode war auch, dass die erhaltenen Linien sowohl mit der Zehenlängsachse als auch mit dem Epiphysenfugenverlauf sehr gut übereinstimmten. Die Linie im Bereich der Epiphysenfuge wurde als Epiphysenbreite (EB) bezeichnet und diente als Grundlinie für die Messung der Epiphysen- und der Gesamtzehenlänge.

5.4.2 Fugenwinkel

Wie weiter oben erwähnt, konnte bei vielen Präparaten eine Abweichung der Röhrbeinachse von der Zwischenzehenachse festgestellt werden. Zur Bestimmung der Abweichung dieser beiden Achsen wurde der Winkel zwischen Röhrbeinlängsachse und der Epiphysenbreite gemessen (Abb. 2 a). Es wurde jeweils der lateral des Schnittpunktes gelegene Winkel bestimmt und mit „Fugenwinkel“ bezeichnet.

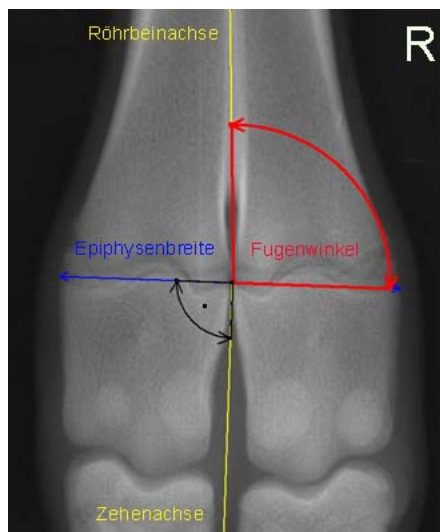
Bei einem Fugenwinkel von genau 90° stimmte die Röhrbeinachse mit der Zwischenzehenachse überein. Wenn der Winkel grösser als 90° war, wich die Röhrbeinachse nach lateral ab. Bei einem Fugenwinkel kleiner als 90° kam die Verlängerung der Röhrbeinachse näher an die mediale Zehe zu liegen.

5.4.3 Messpunkte an den Röhrbeinkondylen

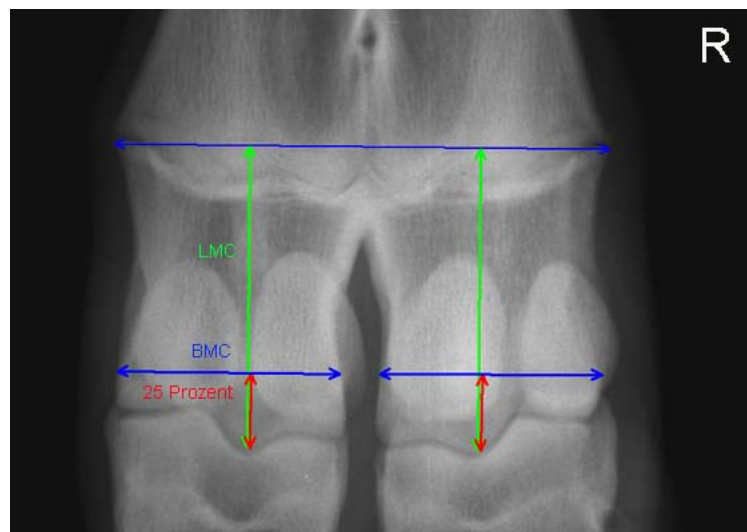
Die Länge der Kondylen (der distalen Epiphysen) der Ossa metacarpalia und -tarsalia wurde bis zum am weitesten distal gelegenen Punkt der Sagittalkämme der Zehengelenkwalzen bestimmt. Dieser Punkt wurde rechtwinklig mit der als

Epiphysenbreite (EB) bezeichneten Linie verbunden und die Länge der entstandenen Linien gemessen.

Für die Messung der Kondylenbreite konnte kein solch eindeutiger anatomischer Bezugspunkt gefunden werden. Damit bei allen Präparaten gleich vorgegangen werden konnte, wurde der Bezugspunkt rechnerisch festgelegt. Hierzu wurde der Bezugspunkt exakt in Höhe von 25 % der zuvor eingezeichneten Kondylenlänge, von distal nach proximal gesehen, gesetzt (Abb. 2 b). An dem so erhaltenen Punkt wurde nun die Breitenlinie der Zehengelenkwalzen rechtwinklig zur Kondylenlänge eingezeichnet.



2a



2b

Abb. 2 a: Fugenwinkel am Beispiel einer Zehe der rechten Vordergliedmasse eines weiblichen, 7 Tage alten Kalbes. In diesem Präparat weicht die Röhrbeinachse zur lateralen Zehe hin ab (Fugenwinkel $> 90^\circ$).

Abb. 2 b: Länge (LMC) und Breite (BMC) der Röhrbeinepiphysen am Beispiel der rechten Vordergliedmasse eines weiblichen, 16 Monate alten Rindes.

Verschiedene anatomische Gegebenheiten machten es notwendig, diese 25 %-Marke zu wählen. Eine Strecke von 10 % errechneter Höhe hatte darin resultiert, dass sich die Breitenlinie abaxial noch im Gelenkspalt befunden hätte. Eine

Breitenmessung auf Höhe der halben Kondylenlänge wäre ebenfalls ungeeignet gewesen, da es hierbei zu Überlagerungen mit den proximalen Sesambeinen gekommen wäre, was eine exakte Breitenbestimmung ebenfalls erschwert hätte.

5.4.4 Messpunkte am Fesselbein

Zur Messung der Fesselbeinlänge wurde eine Linie, ausgehend vom am weitesten distal gelegenen Punkt der Sagittalrinne der Fovea articularis zum am weitesten proximal gelegenen Punkt der Gelenkwalze, gezogen. Wie bereits bei den Röhreinkondylen gab es auch am Fesselbein keine Schwierigkeiten beim Festlegen der Endpunkte zur Messung der Knochenlänge, jedoch konnten keine sicher identifizierbaren anatomischen Punkte zur Breitenbestimmung gefunden werden. Deswegen wurde, wie bereits weiter oben für die Röhreinkondylen beschrieben, mit einem prozentualen Anteil der Länge gearbeitet.

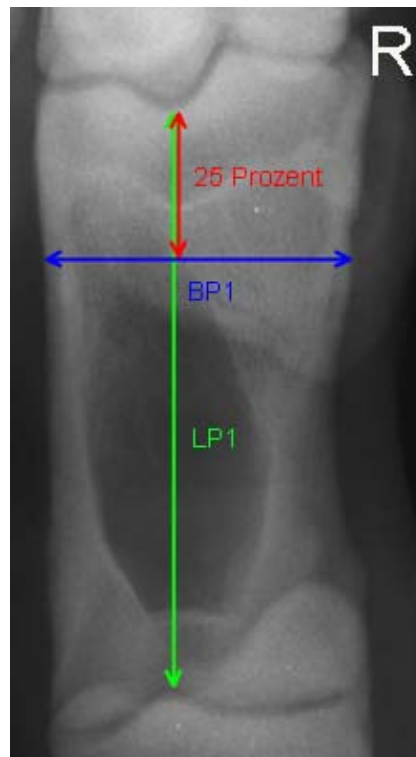


Abb. 3: Messlinien für die Fesselbeinlänge und -breite (LP1 und BP1) am Beispiel der lateralen Zehe der rechten Schultergliedmasse eines weiblichen, 18 Monate alten Rindes.

Von der zuvor ermittelten Fesselbeinlänge (LP1 = Länge der Phalanx 1) wurden 25 % berechnet und diese Strecke von proximal nach distal abgetragen. Die Fesselbeinbreite (BP1 = Breite der Phalanx 1) wurde an der festgelegten Stelle rechtwinklig zur Längengerade bestimmt (Abb. 3).

5.4.5 Messpunkte am Kronbein

Für die Längenmessung am Kronbein wurde als proximaler Endpunkt der Processus extensorius des Knochens gewählt. Von diesem Punkt ausgehend wurde eine Linie bis zu dem am weitesten proximal gelegenen Punkt der Gelenkwalze des Kronbeines gezogen, der als distaler Endpunkt diente.

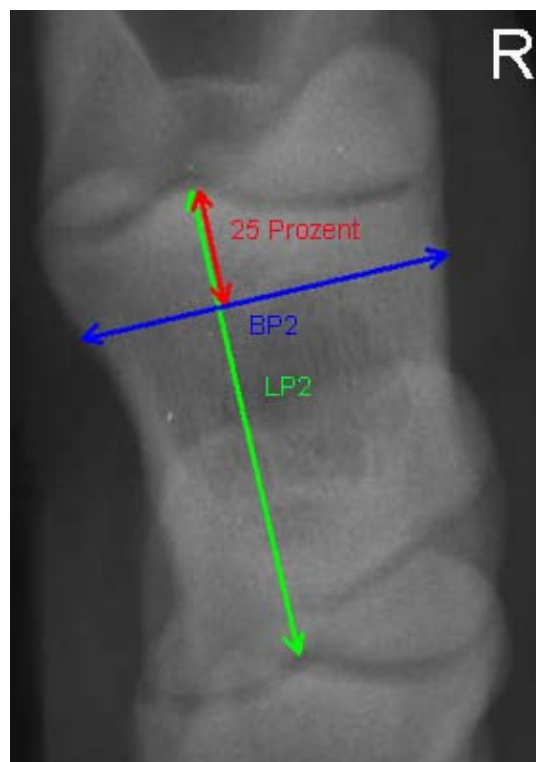


Abb. 4: Messlinien für die Kronbeinlänge und -breite (LP2 und BP2) am Beispiel der lateralen Zehe der rechten Schultergliedmasse eines weiblichen, 18 Monate alten Rindes.

Analog zum Vorgehen am Fesselbein wurde anschliessend von der Länge (LP2 = Länge der Phalanx 2) ein Viertel berechnet und nach distal abgetragen. An dieser Stelle wurde rechtwinklig zur Längenslinie die Breite des Kronbeines (BP2 = Breite der Phalanx 2) bestimmt (Abb. 4).

5.4.6 Messpunkte am Klauenbein

Zur Messung der Klauenbeinlänge (LP3 = Länge der Phalanx 3) wurde eine Verbindungslinie zwischen der Spitze des Processus extensorius und der Klauenbeinspitze gezogen. Wie bereits weiter oben für das Fessel- und Kronbein beschrieben, wurde auch am Klauenbein ein Viertel der Klauenbeinlänge berechnet und von proximal nach distal auf der zur Längenmessung eingezeichneten Linie abgetragen. An dem so erhaltenen Punkt wurde rechtwinklig die Breite des Klauenbeines (BP3 = Breite der Phalanx 3) bestimmt (Abb. 5).

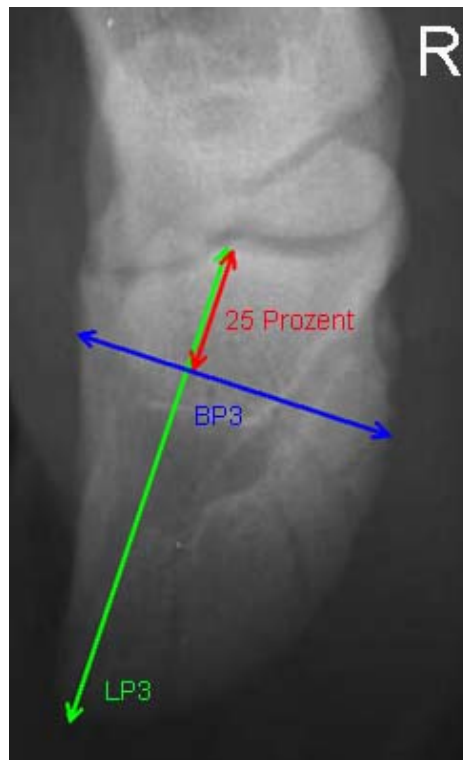


Abb. 5: Messlinien für die Klauenbeinlänge und -breite (LP3 und BP3) der lateralen Zehe der rechten Schultergliedmasse eines weiblichen, 18 Monate alten Rindes.

Bei den Kälbern wurde eine weitere Linie zur Bestimmung der Klauenbeinlänge eingezeichnet (Abb. 6). Dazu wurde die Klauenbeinspitze mit dem am weitesten proximal und axial gelegenen Punkt des Tuberculum flexorium verbunden. Bei den älteren Tieren konnte dieser Punkt wegen der Überlagerung durch das Klauensesambein nicht mehr mit Sicherheit angesprochen werden, weshalb bei diesen eine solche Messung nicht durchführbar war.

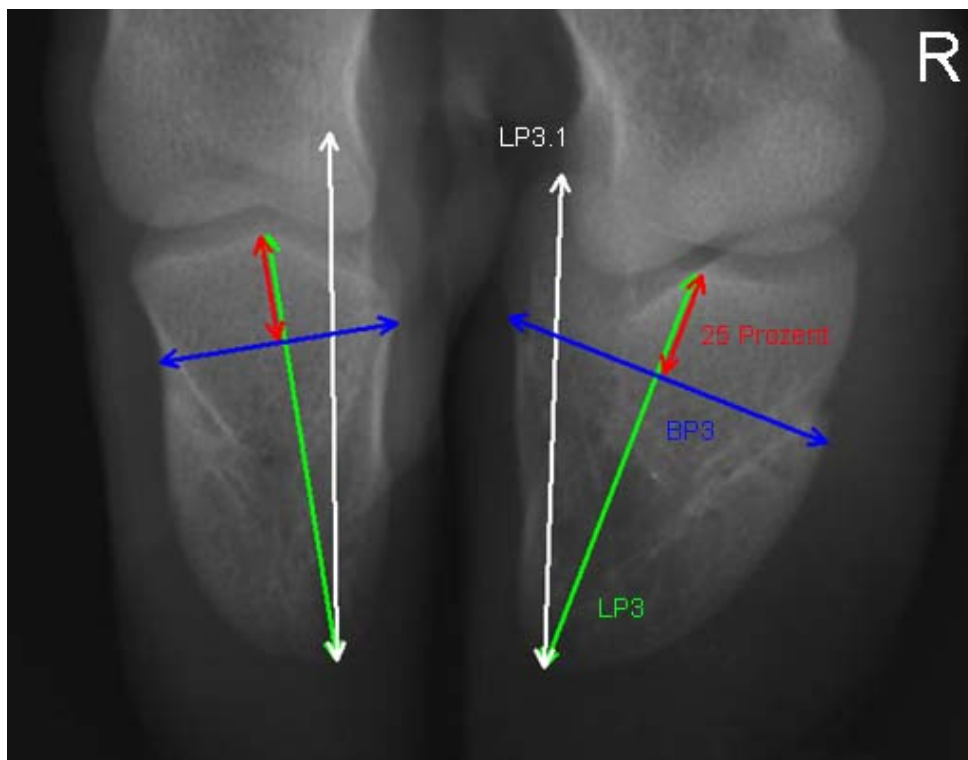


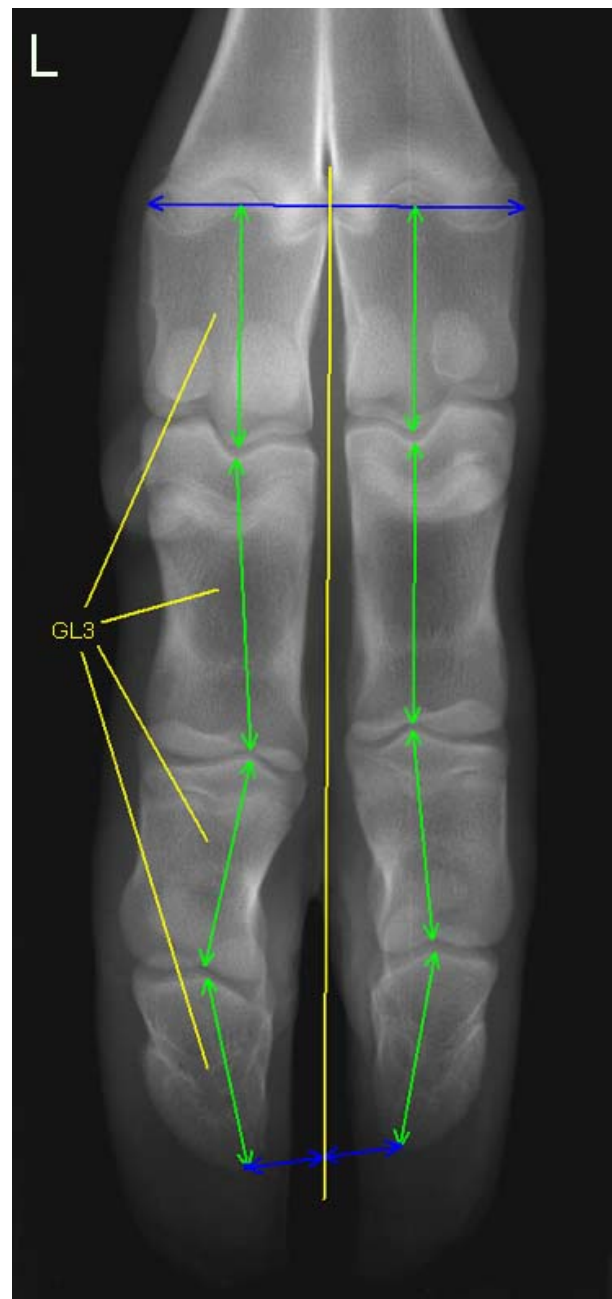
Abb. 6: Klauenbeinlängen (LP3 und LP3.1) und –breite (BP3) am Beispiel einer rechten Hintergliedmasse eines männlichen, 28 Tage alten Kalbes.

5.4.7 Zehenlänge bis zum Klauengelenk/zur Klauenbeinspitze

Ausgehend von und rechtwinklig zur Epiphysenfugenlinie wurden zwei Linien zur Bestimmung der Zehengesamtlänge eingezeichnet. Bei der ersten, bezeichnet als **Gesamtlänge 1**, handelte es sich um eine Linie, die bis zum distalen Punkt der Kronbeinlänge (LP2) reichte. Die zweite, als **Gesamtlänge 2** bezeichnete Zehenlänge, reichte bis zur Klauenbeinspitze (Abb. 7 a).



a



b

Abb. 7 a - b: Gezeichnete (a) und berechnete (b) Gesamtlängen am Beispiel einer linken Hintergliedmasse eines weiblichen, 42 Tage alten Kalbes. GL1 = Gesamtlänge 1, GL2 = Gesamtlänge 2, GL3 = Gesamtlänge 3.

Zu beachten ist auch die Stellung des lateralen Kronbeins, die eine vergleichsweise vermehrte Winklung im lateralen Klauengelenk ergibt. Durch diese Winklung ist die Gesamtlänge 3 deutlich grösser als die Gesamtlänge 2.

Als weitere Methode zu Bestimmung der Zehenlänge wurden die einzelnen zuvor bestimmten Knochenlängen (Röhrbeinkondylen, Fesselbein-, Kronbein- und Klauenbeinlänge) addiert und anschliessend die so erhaltene mediale und laterale Zehenlänge miteinander verglichen (Abb. 7 b). Diese berechnete, aufsummierte Zehenlänge wird im weiteren Text als **Gesamtlänge 3** bezeichnet.

5.4.8 Bestimmen der Längendominanz

Neben dem Mittelwertvergleich der beiden Zehenlänge wurde auch bestimmt, wie gross der absolute und der prozentuale Anteil der jeweils längeren Zehe und derjenige der gleichlangen Zehen war. Da es sich dabei meist, aber nicht immer, um die laterale Zehe handelte und diese zahlenmässig die anderen Möglichkeiten „dominierte“, wurde diese Verteilung die Längendominanz der lateralen Klaue genannt.

5.5 Statistische Methoden

Die statistische Auswertung der Daten erfolgte mit dem Statistikprogramm SPSS, Version 11.5 für Windows, SPSS Inc., Chicago, Illinois, USA. Verglichen wurden vor allem die Mittelwerte der Messungen der lateralen und medialen Zehen. Die untersuchten Parameter wurden mit einem gepaarten T-Test innerhalb der Alterskategorien verglichen. Als statistisch signifikant wurde eine Irrtumswahrscheinlichkeit von $P < 0.05$ festgelegt.

6. Ergebnisse

6.1 Messungen an den isolierten Füßen von Kälbern

6.1.1 Knochenlängen an den Zehen der Schultergliedmassen

Die **Kondylenlänge** der Kälber war uneinheitlich. An den rechten Schultergliedmassen war der mediale Röhreinkondylus im Mittelwert signifikant länger als der laterale ($P < 0.05$), während an den linken Schultergliedmassen kein statistisch signifikanter Längenunterschied festgestellt werden konnte.

Bei ≥ 95 % der untersuchten Zehen konnte sowohl ein längeres laterales **Fesselbein** als auch ein längeres laterales **Kronbein** nachgewiesen werden. Die Längendifferenz war für beide Zehenknochen signifikant (Fesselbein $P_{VL/VR} < 0.001$; Kronbein $P_{VL} < 0.05$, $P_{VR} < 0.01$).

An den **Klauenbeinen** der Kälber wurden, wie bereits weiter oben (Abb. 6) beschrieben, zwei Längenmessungen durchgeführt. Bei der Klauenbeinlänge LP 3 konnte kein signifikanter Unterschied zwischen medialer und lateraler Zehe gefunden werden, bei der Länge LP 3.1 zeigte sich hingegen ein signifikant längeres mediales Klauenbein ($P_{VL/VR} < 0.001$). Die auf diese Art und Weise bestimmte Klauenbeinlänge LP 3.1 war bei 100 % der Tiere an der medialen Zehe länger als an der lateralen.

Bei 85 % der untersuchten Kälbergliedmassen war die **Gesamtlänge 1** der lateralen Zehe länger als die der medialen Zehe. Der Niveauunterschied auf Klauengelenkhöhe war signifikant ($P_{VL} = 0.001$, $P_{VR} < 0.05$) und betrug im Mittel 1.0 mm (Abb. 8).

Bei der **Gesamtlänge 2** konnte an den Zehen der Schultergliedmassen keine signifikante Längendifferenz zwischen medialer und lateraler Zehe festgestellt werden. Bei 65 % der Tiere war die mediale Zehe sogar leichtgradig länger als die laterale.

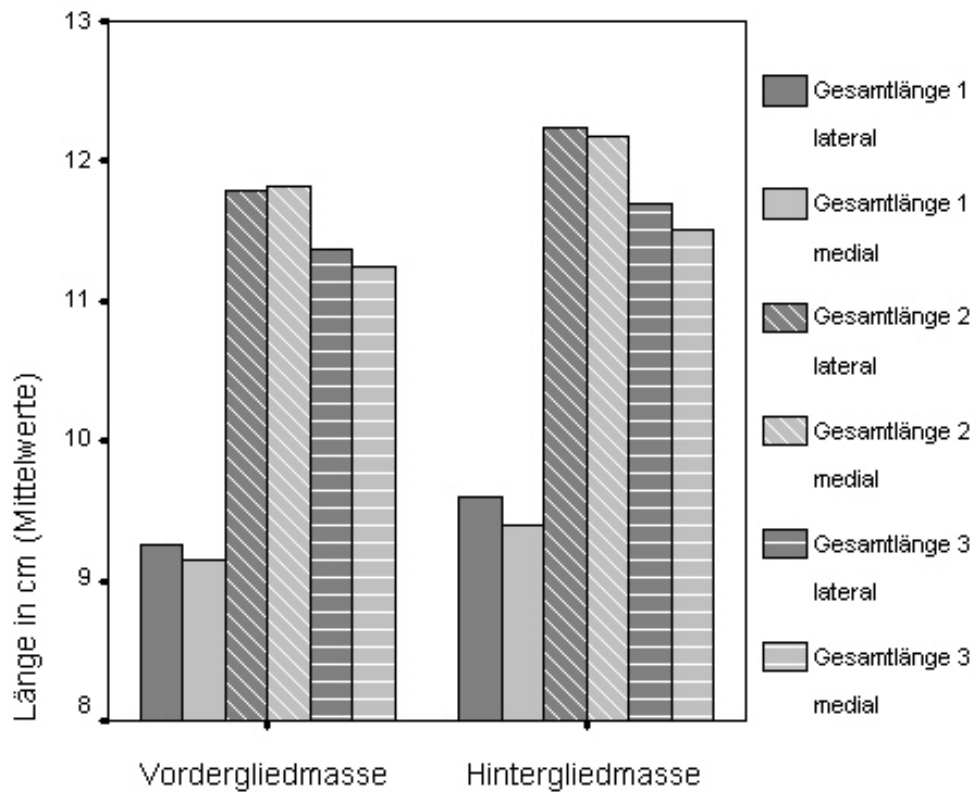


Abb. 8: Vergleich der lateralen und medialen Zehen-Gesamtlängen an den Vorder- und Hintergliedmassen von Kälbern.

Beim Vergleich der **Gesamtlänge 3** der medialen und lateralen Zehe fiel das Resultat gegensätzlich zu den Messungen der **Gesamtlänge 2** aus.

Die laterale **Gesamtlänge 3** war um 1.2 mm signifikant länger (Tab. 12) als die mediale ($P < 0.05$).

Tab. 10: Länge der Zehenknochen (in Zentimetern) an den Schultergliedmassen von Kälbern. N = Anzahl der Tiere.

Knochen		N	links		rechts	
			Mittelwert	Standardabweichung	Mittelwert	Standardabweichung
Kondylen	lateral	10	3.00	0.32	2.98	0.36
	medial	10	3.00	0.33	3.02	0.36
Fesselbein	lateral	10	3.50	0.39	3.51	0.40
	medial	10	3.39	0.36	3.39	0.36
Kronbein	lateral	10	2.40	0.26	2.40	0.27
	medial	10	2.36	0.25	2.35	0.25
Klauenbein (LP 3)	lateral	10	2.46	0.26	2.49	0.22
	medial	10	2.49	0.24	2.47	0.26
Klauenbein (LP 3.1)	lateral	10	2.84	0.31	2.87	0.29
	medial	10	3.01	0.30	2.99	0.29
Gesamtlänge 1	lateral	10	9.27	0.92	9.25	0.97
	medial	10	9.15	0.89	9.17	0.93
Gesamtlänge 2	lateral	10	11.81	1.13	11.78	1.15
	medial	10	11.83	1.07	11.83	1.13
Gesamtlänge 3	lateral	10	11.36	1.15	11.37	1.19
	medial	10	11.25	1.11	11.24	1.15

Tab. 11: Verteilung der Längendominanz (in %) auf die lateralen und medialen Zehenknochen an den Schultergliedmassen von Kälbern. N = Anzahl der Zehen.

Knochen	N	lateral > medial		lateral = medial		lateral < medial	
		Anzahl	%	Anzahl	%	Anzahl	%
Kondylen	20	4	20	6	30	10	50
Fesselbein	20	20	100	0	0	0	0
Kronbein	20	19	95	1	5	0	0
Klauenbein (LP 3)	20	9	45	4	20	7	35
Klauenbein (LP 3.1)	20	0	0	0	0	20	100
Gesamtlänge 1	20	17	85	0	0	3	15
Gesamtlänge 2	20	7	35	0	0	13	65
Gesamtlänge 3	20	15	75	0	0	5	25

6.1.2 Knochenlängen an den Zehen der Beckengliedmassen

An den Beckengliedmassen zeigten 100 % der Präparate sowohl einen längeren lateralen **Kondylus der Ossa metatarsalia** als auch ein längeres laterales **Fesselbein**. Der Längenunterschied war im Mittelwertvergleich signifikant (Röhreinkondylen $P_{HL} < 0.01$, $P_{HR} < 0.001$; Fesselbein $P_{HL/HR} < 0.001$).

Das laterale **Kronbein** war lediglich bei 55 % der untersuchten Zehen der Beckengliedmassen länger als das mediale. Der Längenunterschied der Mittelwerte war nicht signifikant.

Das mediale **Klauenbein** war bei 17 von 20 Zehen länger als das laterale. Bei der Klauenbeinlänge LP 3.1 zeigte sich ein signifikanter Längenunterschied an beiden Beckengliedmassen ($P_{HL/HR} < 0.001$), bei der Länge LP 3 lediglich an den linken Beckengliedmassen ($P_{HL} = 0.001$).

Bei allen Kälbern konnte auf Klauengelenkniveau eine an der lateralen Zehe längere **Gesamtlänge 1** festgestellt werden. Dieser Längenunterschied war signifikant ($P_{HL/HR} < 0.001$) und betrug durchschnittlich 2.1 mm.

Tab. 12: Längendifferenz (in Millimetern) zwischen medialer und lateraler Zehe von Kälbern. N = Anzahl der Zehen.

	N	Schultergliedmassen	Beckengliedmassen
Gesamtlänge 1	20	+1.0*	+2.1*
Gesamtlänge 2	20	-0.4	+0.7
Gesamtlänge 3	20	+1.2	+1.8

+ = laterale Zehe länger, - = mediale Zehe länger. * = signifikant bei $p < 0.01$.

Bei über der Hälfte der Tiere konnte eine längere laterale Zehe auch auf Höhe der Klauenbeinspitze (**Gesamtlänge 2** und **Gesamtlänge 3**) gezeigt werden. Die Längendifferenz der Mittelwerte war allerdings nur an den rechten Beckengliedmassen signifikant (Gesamtlänge 2 $P_{HR} < 0.05$; Gesamtlänge 3 $P_{HR} < 0.001$). Der durchschnittliche Längenunterschied in der Gesamtlänge 3 zwischen der medialen und lateralen Zehe betrug 1.8 mm. Diese Längendifferenz von 1.8

mm entsprach 1.55 % der Mittelwerte der Gesamtlänge 3 an den Beckengliedmassen und war somit prozentual gesehen grösser als an den Schultergliedmassen, bei welchen der Längenunterschied von 1.2 mm lediglich 1.06 % der Gesamtlänge 3 ausmachte.

Tab. 13: Länge der Zehenknochen (in Zentimetern) an den Beckengliedmassen von Kälbern. N = Anzahl der Tiere.

Knochen		N	links		rechts	
			Mittelwert	Standardabweichung	Mittelwert	Standardabweichung
Kondylen	lateral	10	3.08	0.36	3.05	0.36
	medial	10	3.00	0.35	2.88	0.34
Fesselbein	lateral	10	3.58	0.35	3.58	0.34
	medial	10	3.48	0.32	3.46	0.31
Kronbein	lateral	10	2.55	0.26	2.54	0.27
	medial	10	2.53	0.25	2.52	0.25
Klauenbein (LP 3)	lateral	10	2.50	0.25	2.53	0.27
	medial	10	2.60	0.24	2.56	0.24
Klauenbein (LP 3.1)	lateral	10	3.02	0.28	3.04	0.27
	medial	10	3.21	0.27	3.21	0.28
Gesamtlänge 1	lateral	10	9.63	0.92	9.57	0.90
	medial	10	9.45	0.86	9.33	0.84
Gesamtlänge 2	lateral	10	12.25	1.12	12.23	1.12
	medial	10	12.25	1.05	12.09	1.03
Gesamtlänge 3	lateral	10	11.70	1.18	11.69	1.18
	medial	10	11.60	1.11	11.43	1.07

Hinsichtlich der Kondylen-, Fesselbein- und Klauenbeinlänge konnte kein Längenunterschied zwischen den Schulter- und Beckengliedmassen festgestellt werden.

Die Kronbeine der Beckengliedmassen unterschieden sich im Mittelwert signifikant von denjenigen der Schultergliedmassen. An den Beckengliedmassen betrug die mittlere Kronbeinlänge 2.53 cm, an den Schultergliedmassen lediglich 2.38 cm ($P < 0.001$).

Tab. 14: Verteilung der Längendominanz (in %) auf die lateralen und medialen Zehenknochen an den Beckengliedmassen von Kälbern. N = Anzahl der Zehen.

Knochen	N	lateral > medial		lateral = medial		lateral < medial	
		Anzahl	%	Anzahl	%	Anzahl	%
Kondylen	20	20	100	0	0	0	0
Fesselbein	20	20	100	0	0	0	0
Kronbein	20	11	55	4	20	5	25
Klauenbein (LP 3)	20	2	10	1	5	17	85
Klauenbein (LP 3.1)	20	0	0	0	0	20	100
Gesamtlänge 1	20	20	100	0	0	0	0
Gesamtlänge 2	20	11	55	1	5	8	40
Gesamtlänge 3	20	14	70	2	10	4	20

In der Verteilung der grösseren Zehenlänge ergab sich insbesondere bei der Gesamtlänge 2 kein eindeutiges Bild, wenn auch hinsichtlich der Gesamtlänge 3 die lateralen Zehen zu 70% länger waren.

6.1.3 Knochenbreiten an den Zehen der Schultergliedmassen

Der mediale **Röhrbeinkondylus** war an beiden Schultergliedmassen signifikant breiter als der laterale ($P_{VL/VR} < 0.001$). Dieser Breitenunterschied fand sich bei 100 % der untersuchten Zehen.

Die lateralen **Fesselbeine** der rechten, nicht jedoch der linken Schultergliedmassen waren signifikant breiter als die medialen ($P_{VR} < 0.01$). Am **Kronbein** konnte im Mittelwert kein signifikanter Breitenunterschied zwischen medialer und lateraler Zehe festgestellt werden. Bei 75 % der Fesselbeine und 60 % der Kronbeine waren jedoch lateral breitere Knochen als medial vorhanden. Das laterale **Klauenbein** war signifikant breiter als das mediale ($P_{VL} < 0.05$, $P_{VR} < 0.001$).

Tab. 15: Breite der Zehenknochen (in Zentimetern) an den Schultergliedmassen von Kälbern. N = Anzahl der Tiere.

Knochen		N	links		rechts	
			Mittelwert	Standardabweichung	Mittelwert	Standardabweichung
Kondylen	lateral	10	2.16	0.26	2.19	0.27
	medial	10	2.27	0.26	2.28	0.25
Fesselbein	lateral	10	2.16	0.20	2.20	0.20
	medial	10	2.13	0.20	2.13	0.20
Kronbein	lateral	10	2.09	0.21	2.12	0.22
	medial	10	2.09	0.21	2.10	0.21
Klauenbein	lateral	10	1.84	0.28	1.97	0.25
	medial	10	1.66	0.14	1.60	0.12

Tab. 16: Verteilung der Breitendominanz (in %) auf die lateralen und medialen Zehenknochen an den Schultergliedmassen von Kälbern. N = Anzahl der Zehen.

Knochen	N	lateral > medial		lateral = medial		lateral < medial	
		Anzahl	%	Anzahl	%	Anzahl	%
Kondylen	20	0	0	0	0	20	100
Fesselbein	20	15	75	2	10	3	15
Kronbein	20	12	60	0	0	8	40
Klauenbein	20	16	80	3	15	1	5

6.1.4 Knochenbreiten an den Zehen der Beckengliedmassen

An den Ossa metatarsalia der untersuchten linken Gliedmassen war der mediale **Kondylus** signifikant breiter als der laterale ($P_{HL} < 0.01$), an den rechten Beckengliedmassen unterschieden sich die Kondylen in ihrer Breite statistisch nicht.

Bei 65 % der Tiere war das laterale **Fesselbein** breiter als das mediale, beim Mittelwertvergleich zeigte sich jedoch kein signifikanter Unterschied (Tab. 17). Signifikante Ergebnisse konnten dafür bei der **Kronbeinbreite** gefunden werden. Das mediale Kronbein war signifikant breiter als das laterale der entspre-

chenden Gliedmasse ($P_{HL} < 0.01$, $P_{HR} < 0.05$), der Breitenunterschied bestand bei 75 % der untersuchten Zehen (Tab. 18).

Das laterale **Klauenbein** war bei 100 % der untersuchten Zehen breiter als das mediale, der Unterschied war im Mittelwert signifikant ($P_{HL/HR} < 0.001$).

Tab. 17: Breite der Zehenknochen (in Zentimetern) an den Beckengliedmassen von Kälbern. N = Anzahl der Tiere.

Knochen		N	links		rechts	
			Mittelwert	Standardabweichung	Mittelwert	Standardabweichung
Kondylen	lateral	10	2.16	0.22	2.23	0.24
	medial	10	2.22	0.22	2.21	0.21
Fesselbein	lateral	10	2.13	0.18	2.15	0.17
	medial	10	2.10	0.17	2.12	0.16
Kronbein	lateral	10	2.05	0.18	2.07	0.17
	medial	10	2.09	0.17	2.09	0.17
Klauenbein	lateral	10	1.74	0.11	1.92	0.20
	medial	10	1.54	0.12	1.53	0.10

Tab. 18: Verteilung der Breitendominanz (in %) auf die lateralen und medialen Zehenknochen an den Beckengliedmassen von Kälbern. N = Anzahl der Zehen.

Knochen	N	lateral > medial		lateral = medial		lateral < medial	
		Anzahl	%	Anzahl	%	Anzahl	%
Kondylen	20	7	35	1	5	12	60
Fesselbein	20	13	65	2	10	5	25
Kronbein	20	4	20	1	5	15	75
Klauenbein	20	20	100	0	0	0	0

6.2 Messungen an den isolierten Füßen von Rindern

6.2.1 Knochenlängen an den Zehen der Schultergliedmassen

Mit Ausnahme des Klauenbeines waren die Knochen der lateralen Zehe an den Schultergliedmassen statistisch signifikant länger als diejenigen der medialen Zehe (Röhrbeinkondylen $P_{VL/VR} < 0.01$; Fesselbein $P_{VL/VR} < 0.001$; Kronbein $P_{VL/VR} \leq 0.001$). Bei $\geq 90\%$ der untersuchten Zehen waren sowohl die lateralen **Röhrbeinkondylen** als auch die lateralen **Fessel-** und **Kronbeine** länger als diejenigen Knochen der medialen Zehe (Tab. 20).

Beim **Klauenbein** verhielt es sich entgegengesetzt. Das mediale Klauenbein war signifikant länger als das laterale ($P_{VL} < 0.001$, $P_{VR} < 0.01$). Ein an der Innenzehe längeres Klauenbein konnte bei 90 % der untersuchten Füße gefunden werden.

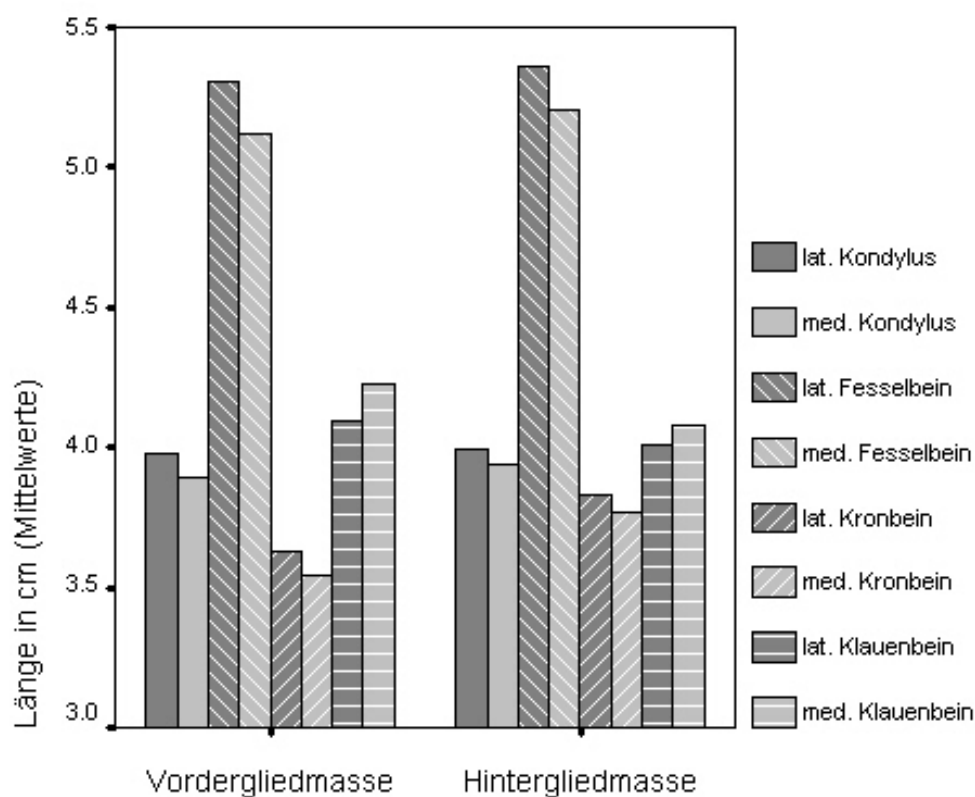


Abb. 9: Längenvergleich der Röhrbeinkondylen und der Zehenknochen an den Vorder- und Hintergliedmassen von Rindern.

Bei über 80% der Gliedmassen der Rinder waren die **Gesamtlänge 1, 2 und 3** der lateralen Zehe länger als die entsprechenden Längen der medialen Zehe. Auf Höhe des Klauengelenkes bestand ein signifikanter Längenunterschied ($P_{HL/HR} < 0.001$) von durchschnittlich 2.8 mm, der auf Höhe der Klauenbeinspitze nur noch an den rechten Schultergliedmassen signifikant war (Gesamtlänge 2 $P_{VR} < 0.05$). Die Gesamtlänge 3 war bei allen Tieren lateral signifikant grösser ($P_{HL/HR} < 0.001$), im Durchschnitt um 2.2 mm.

Tab. 19: Länge der Zehenknochen (in Zentimetern) an den Schultergliedmassen von Rindern. N = Anzahl der Tiere.

Knochen		N	links		rechts	
			Mittelwert	Standardabweichung	Mittelwert	Standardabweichung
Kondylen	lateral	10	3.98	0.41	3.98	0.41
	medial	10	3.90	0.45	3.89	0.47
Fesselbein	lateral	10	5.30	0.38	5.31	0.37
	medial	10	5.12	0.36	5.13	0.34
Kronbein	lateral	10	3.63	0.21	3.63	0.20
	medial	10	3.53	0.23	3.56	0.22
Klauenbein	lateral	10	4.11	0.42	4.08	0.41
	medial	10	4.28	0.40	4.18	0.40
Gesamtlänge 1	lateral	10	13.09	0.91	13.12	0.86
	medial	10	12.81	0.98	12.84	0.96
Gesamtlänge 2	lateral	10	17.20	1.21	17.22	1.17
	medial	10	17.11	1.26	17.05	1.25
Gesamtlänge 3	lateral	10	17.01	1.26	17.01	1.19
	medial	10	16.83	1.30	16.75	1.24

Hinsichtlich der Verteilung der Zehenlänge dominierte die laterale Zehe (Tab. 20). Sogar bei Gesamtlänge 2 waren die lateralen Zehen zu 80 % die längeren.

Tab. 20: Verteilung der Längendominanz (in %) auf die lateralen und medialen Zehenknochen an den Schultergliedmassen von Rindern. N = Anzahl der Zehen.

Knochen	N	lateral > medial		lateral = medial		lateral < medial	
		Anzahl	%	Anzahl	%	Anzahl	%
Kondylen	20	18	90	0	0	2	10
Fesselbein	20	20	100	0	0	0	0
Kronbein	20	20	100	0	0	0	0
Klauenbein	20	2	10	0	0	18	90
Gesamtlänge 1	20	20	100	0	0	0	0
Gesamtlänge 2	20	16	80	0	0	4	20
Gesamtlänge 3	20	20	100	0	0	0	0

6.2.2 Knochenlängen an den Zehen der Beckengliedmassen

Bei mehr als 80 % der untersuchten Zehen von Jungrindern waren sowohl der laterale **Röhrbeinkondylus** als auch das laterale **Fessel-** und **Kronbein** länger als die entsprechenden Knochen der medialen Zehe. Die Längendifferenz war mit Ausnahme der Kondylen der rechten Ossa metatarsalia signifikant (Röhrbeinkondylen $P_{HL} < 0.05$; Fesselbein $P_{HL/HR} < 0.001$; Kronbein $P_{HL} < 0.001$, $P_{HR} < 0.01$).

Das **Klauenbein** war bei 70 % der untersuchten Gliedmassen an der medialen Zehe länger als an der lateralen, der Längenunterschied war jedoch nur an den linken Beckengliedmassen signifikant ($P_{HL} < 0.05$). Bei mehr als 85 % der untersuchten Zehen der Beckengliedmassen waren die **Gesamtlängen 1, 2 und 3** lateral länger als medial.

Tab. 21: Längendifferenz (in Millimetern) zwischen medialer und lateraler Zehe von Rindern. N = Anzahl der Zehen.

	N	Schultergliedmassen	Beckengliedmassen
Gesamtlänge 1	20	+2.8*	+2.8 ^(*)
Gesamtlänge 2	20	+1.3	+1.5
Gesamtlänge 3	20	+2.2*	+2.0*

+ = laterale Zehe länger, * = signifikant bei $p < 0.01$, ^(*) = linke Gliedmassen $p < 0.05$, rechte Gliedmassen $p < 0.01$.

Die Längendifferenz zwischen der lateralen und der medialen Zehe war bei der **Gesamtlänge 1** auf Höhe des Klauengelenkes mit 2.8 mm Längenunterschied signifikant ausgeprägt ($P_{HL} < 0.05$, $P_{HR} = 0.001$). Bei Betrachtung der Zehenlänge bis zur Klauenbeinspitze konnte sowohl bei der **Gesamtlänge 2** ($P_{HL/HR} < 0.05$) als auch bei der **Gesamtlänge 3** ($P_{HL/HR} < 0.01$) ein signifikanter Längenunterschied zwischen medial und lateral nachgewiesen werden. Er betrug 1.5 mm bei der Gesamtlänge 2 und 2mm bei der Gesamtlänge 3. Eine Längendifferenz der Gesamtlänge 3 zwischen medialer und lateraler Zehe von 2 mm entsprach 1.17 % der Mittelwerte der Gesamtlängen 3 an den Beckengliedmassen. An den Schultergliedmassen machte der Längenunterschied 1.3 % der mittleren Gesamtlängen 3 aus.

Tab. 22: Länge der Zehenknochen (in Zentimetern) an den Beckengliedmassen von Rindern. N = Anzahl der Tiere.

Knochen		N	links		rechts	
			Mittelwert	Standardabweichung	Mittelwert	Standardabweichung
Kondylen	lateral	10	3.98	0.33	4.01	0.32
	medial	10	3.92	0.36	3.95	0.37
Fesselbein	lateral	10	5.37	0.38	5.36	0.37
	medial	10	5.21	0.34	5.20	0.34
Kronbein	lateral	10	3.82	0.23	3.84	0.22
	medial	10	3.77	0.23	3.77	0.23
Klauenbein	lateral	10	3.99	0.38	4.02	0.39
	medial	10	4.08	0.37	4.07	0.39
Gesamtlänge 1	lateral	10	13.50	0.88	13.42	0.86
	medial	10	13.17	0.84	13.20	0.83
Gesamtlänge 2	lateral	10	17.48	1.10	17.51	1.14
	medial	10	17.34	1.10	17.36	1.10
Gesamtlänge 3	lateral	10	17.17	1.08	17.22	1.08
	medial	10	16.99	1.07	17.00	1.09

Tab. 23: Verteilung der Längendominanz (in %) auf die lateralen und medialen Zehenknochen an den Beckengliedmassen von Rindern. N = Anzahl der Zehen.

Knochen	N	lateral > medial		lateral = medial		lateral < medial	
		Anzahl	%	Anzahl	%	Anzahl	%
Kondylen	20	16	80	0	0	4	20
Fesselbein	20	20	100	0	0	0	0
Kronbein	20	18	90	1	5	1	5
Klauenbein	20	6	30	0	0	14	70
Gesamtlänge 1	20	19	95	0	0	1	5
Gesamtlänge 2	20	17	85	0	0	3	15
Gesamtlänge 3	20	19	95	0	0	1	5

Zwischen den Kondylen der Ossa metacarpalia und -tarsalia sowie zwischen den Fesselbeinen der Schulter- und Beckengliedmassen konnte kein signifikanter Längenunterschied festgestellt werden.

Die Kronbeine der Beckengliedmassen waren um 2.2 mm länger als diejenigen der Schultergliedmassen ($P < 0.001$). Umgekehrt verhielt es sich bei den Klauenbeinen, welche im Mittelwerte an den Schultergliedmassen um 1.4 mm länger waren als an den Beckengliedmassen ($P < 0.05$). In der Längenverteilung dominierten klar die lateralen Zehen.

6.2.3 Knochenbreiten an den Zehen der Schultergliedmassen

Bei 70 und mehr Prozent der untersuchten Zehen war sowohl der mediale **Röhrbeinkondylus** als auch das mediale **Kronbein** breiter als die entsprechenden lateralen Knochen. Der Breitenunterschied war lediglich an den linken Schultergliedmassen von statistischer Signifikanz (Röhrbeinkondylen $P_{VL} < 0.01$; Kronbeine $P_{VL} < 0.01$).

Weiter wurden bei über 75 % der untersuchten Zehen breitere laterale **Fessel-** und **Klauenbeine** gefunden als an der medialen Zehe (Tab. 25), die Breitendifferenz war bezüglich Fesselbeine jedoch nur an den rechten Schultergliedmassen signifikant (Fesselbeine $P_{VR} < 0.05$; Klauenbeine $P_{VL/VR} < 0.01$).

Tab. 24: Breite der Zehenknochen (in Zentimetern) an den Schultergliedmassen von Rindern. N = Anzahl der Tiere.

Knochen		N	links		rechts	
			Mittelwert	Standardabweichung	Mittelwert	Standardabweichung
Kondylen	lateral	10	3.05	0.27	3.10	0.29
	medial	10	3.20	0.29	3.16	0.22
Fesselbein	lateral	10	3.00	0.25	3.02	0.23
	medial	10	2.95	0.24	2.92	0.23
Kronbein	lateral	10	2.98	0.28	3.01	0.27
	medial	10	3.05	0.27	3.03	0.27
Klauenbein	lateral	10	2.91	0.34	2.92	0.30
	medial	10	2.62	0.27	2.57	0.19

Tab. 25: Verteilung der Breitendominanz (in %) auf die lateralen und medialen Zehenknochen an den Schultergliedmassen von Rindern. N = Anzahl der Zehen.

Knochen	N	lateral > medial		lateral = medial		lateral < medial	
		Anzahl	%	Anzahl	%	Anzahl	%
Kondylen	20	3	15	2	10	15	75
Fesselbein	20	15	75	1	5	4	20
Kronbein	20	6	30	0	0	14	70
Klauenbein	20	17	85	0	0	3	15

Die Verteilung der Knochenbreiten liess keinen gleichgerichteten Verlauf erkennen.

6.2.4 Knochenbreiten an den Zehen der Beckengliedmassen

Bei über 60 % der untersuchten Zehen war der mediale **Röhrbeinkondylus** sowie das mediale **Kronbein** breiter als die entsprechenden Knochen der lateralen Zehe, der Breitenunterschied war jedoch mit Ausnahme der Kronbeine der linken Beckengliedmassen ($P_{HL} < 0.05$) nicht signifikant.

Das **Fesselbein** der lateralen Zehe war breiter als dasjenige der medialen, wenn auch nur an den linken Beckengliedmassen statistisch signifikant ($P_{HL} < 0.05$). Das laterale **Klauenbein** war bei 95 % der Zehen breiter als das mediale ($P_{HL} < 0.01$, $P_{HR} < 0.001$).

Tab. 26: Breite der Zehenknochen (in Zentimetern) an den Beckengliedmassen von Rindern. N = Anzahl der Tiere.

Knochen		N	links		rechts	
			Mittelwert	Standardabweichung	Mittelwert	Standardabweichung
Kondylen	lateral	10	2.88	0.28	2.94	0.25
	medial	10	2.96	0.27	2.96	0.22
Fesselbein	lateral	10	2.87	0.22	2.89	0.22
	medial	10	2.81	0.21	2.83	0.20
Kronbein	lateral	10	2.87	0.27	2.93	0.26
	medial	10	2.92	0.24	2.93	0.23
Klauenbein	lateral	10	2.52	0.22	2.63	0.17
	medial	10	2.35	0.20	2.28	0.26

Tab. 27: Verteilung der Breitendominanz (in %) auf die lateralen und medialen Zehenknochen an den Beckengliedmassen von Rindern. N = Anzahl der Zehen.

Knochen	N	lateral > medial		lateral = medial		lateral < medial	
		Anzahl	%	Anzahl	%	Anzahl	%
Kondylen	20	7	35	0	0	13	65
Fesselbein	20	17	85	0	0	3	15
Kronbein	20	5	25	3	15	12	60
Klauenbein	20	19	95	0	0	1	5

6.3 Messungen an den isolierten Füßen von Jungkühen

6.3.1 Knochenlängen an den Zehen der Schultergliedmassen

Die lateralen **Kondylen der Ossa metacarpalia** waren bei 60 % der untersuchten Zehen länger als die medialen, der Längenunterschied war jedoch nicht signifikant.

Bezüglich der **Fessel-** und **Kronbeine** konnte bei 100 % der untersuchten Zehen ein Längenunterschied zwischen medial und lateral festgestellt werden (Tab.

29). Die Knochen der lateralen Zehe waren länger als diejenigen der medialen ($P_{VL/VR} < 0.001$).

Das mediale **Klauenbein** war signifikant länger ausgebildet ($P_{VL} < 0.01$, $P_{VR} < 0.05$) als das laterale und ein Längenunterschied konnte bei 90 % der untersuchten Zehen nachgewiesen werden.

An den Schultergliedmassen war die Zehenlänge bis zum lateralen Klauengelenk grösser als diejenige bis zum medialen. Der Längenunterschied von 2.7 mm zwischen medialer und lateraler **Gesamtlänge 1** war signifikant ($P_{VL/VR} < 0.001$).

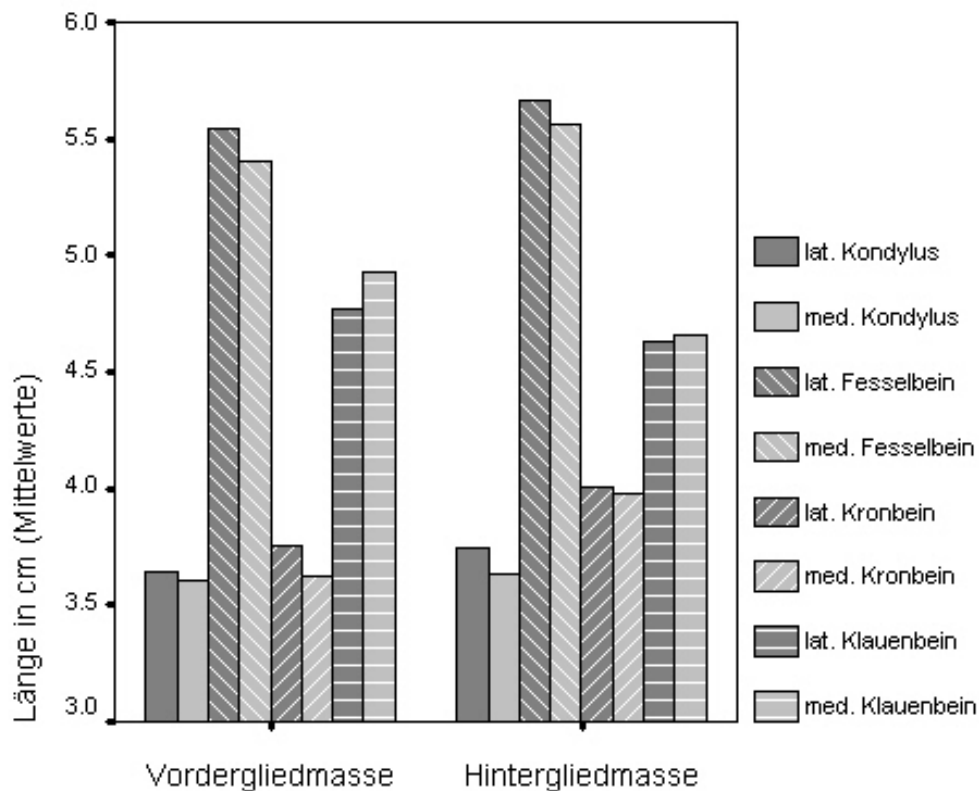


Abb. 10: Längenvergleich der Röhreinkondylen und der Zehenknochen an den Vorder- und Hintergliedmassen von Jungkühen.

Bei **Gesamtlänge 2** konnte nur noch bei 65 % der Zehen eine lateral längere Zehenachse festgestellt werden, der Längenunterschied war nicht signifikant.

Bei der **Gesamtlänge 3** zeigte sich allerdings eine um durchschnittlich 1.7 mm signifikant längere ($P < 0.05$) laterale Zehe (Tab. 30).

Tab. 28: Länge der Zehenknochen (in Zentimetern) an den Schultergliedmassen von Jungkühen. N = Anzahl der Tiere.

Knochen		N	links		rechts	
			Mittelwert	Standardabweichung	Mittelwert	Standardabweichung
Kondylen	lateral	10	3.65	0.34	3.64	0.28
	medial	10	3.62	0.35	3.59	0.27
Fesselbein	lateral	10	5.55	0.25	5.54	0.24
	medial	10	5.39	0.25	5.42	0.25
Kronbein	lateral	10	3.76	0.22	3.75	0.22
	medial	10	3.63	0.20	3.62	0.20
Klauenbein	lateral	10	4.77	0.24	4.78	0.28
	medial	10	4.95	0.27	4.90	0.30
Gesamtlänge 1	lateral	10	13.13	0.72	13.10	0.66
	medial	10	12.85	0.72	12.84	0.66
Gesamtlänge 2	lateral	10	17.91	0.80	17.89	0.73
	medial	10	17.83	0.80	17.75	0.73
Gesamtlänge 3	lateral	10	17.74	0.83	17.71	0.76
	medial	10	17.59	0.80	17.53	0.73

Tab. 29: Verteilung der Längendominanz (in %) auf die lateralen und medialen Zehenknochen an den Schultergliedmassen von Jungkühen. N = Anzahl der Zehen.

Knochen	N	lateral > medial		lateral = medial		lateral < medial	
		Anzahl	%	Anzahl	%	Anzahl	%
Kondylen	20	12	60	0	0	8	40
Fesselbein	20	20	100	0	0	0	0
Kronbein	20	20	100	0	0	0	0
Klauenbein	20	2	10	0	0	18	90
Gesamtlänge 1	20	20	100	0	0	0	0
Gesamtlänge 2	20	13	65	0	0	7	35
Gesamtlänge 3	20	16	80	0	0	4	20

Hinsichtlich **Gesamtlänge 2** waren nur 65% der lateralen Zehen länger als die medialen, wohingegen 80 % der lateralen Zehen in der **Gesamtlänge 3** die grösseren Werte aufwiesen.

6.3.2 Knochenlängen an den Zehen der Beckengliedmassen

Die **Röhrbeinkondylen**, die **Fessel-** und **Kronbeine** waren an den lateralen Zehen deutlich länger, im Falle der Kondylen der Ossa metatarsalia und der Fesselbeine bei ≥ 85 % der Zehen. Der Längenunterschied war mit Ausnahme der Kronbeine der linken Beckengliedmassen signifikant (Röhrbeinkondylen $P_{HL} < 0.01$, $P_{HR} < 0.001$; Fesselbeine $P_{HL} < 0.01$, $P_{HR} < 0.05$; Kronbeine $P_{HR} < 0.05$).

Die medialen **Klauenbeine** waren bei 60 % der untersuchten Zehen länger als die lateralen, die Längendifferenz war jedoch nicht von statistischer Signifikanz. Bei 95 % der Zehen waren die laterale **Gesamtlängen 1, 2 und 3** länger (Tab. 30) als die medialen, und der Längenunterschied war sowohl auf Höhe des Klauengelenkes als auch auf Höhe der Klauenbeinspitze signifikant (Gesamtlänge 1 $P_{HL} < 0.01$, $P_{HR} < 0.001$; Gesamtlänge 2 $P_{HL} < 0.01$, $P_{HR} < 0.001$; Gesamtlänge 3 $P_{HL/HR} < 0.001$).

Tab. 30: Längendifferenz (in Millimetern) zwischen medialer und lateraler Zehe von Jungkühen. N = Anzahl der Zehen.

	N	Schultergliedmassen	Beckengliedmassen
Gesamtlänge 1	20	+2.7*	+2.1*
Gesamtlänge 2	20	+1.1	+1.8*
Gesamtlänge 3	20	+1.7	+2.1*

+ = laterale Zehe länger, * = signifikant $p < 0.01$.

Beim Vergleich der Gesamtlänge 3 zwischen medialer und lateraler Zehe ergab sich ein Längenunterschied von 2.1 mm. Diese 2.1 mm entsprachen 1.17 % des Mittelwertes der Gesamtlängen 3. An den Schultergliedmassen machte die Längendifferenz lediglich 0.96 % der Gesamtlängen 3 aus.

Tab. 31: Verteilung der Längendominanz (in %) auf die lateralen und medialen Zehenknochen an den Beckengliedmassen von Jungkühen. N = Anzahl der Zehen.

Knochen	N	lateral > medial		lateral = medial		lateral < medial	
		Anzahl	%	Anzahl	%	Anzahl	%
Kondylen	20	19	95	0	0	1	5
Fesselbein	20	17	85	0	0	3	15
Kronbein	20	13	65	1	5	6	30
Klauenbein	20	7	35	1	5	12	60
Gesamtlänge 1	20	19	95	0	0	1	5
Gesamtlänge 2	20	19	95	0	0	1	5
Gesamtlänge 3	20	19	95	0	0	1	5

Tab. 32: Länge der Zehenknochen (in Zentimetern) an den Beckengliedmassen von Jungkühen. N = Anzahl der Tiere.

Knochen		N	links		rechts	
			Mittelwert	Standardabweichung	Mittelwert	Standardabweichung
Kondylen	lateral	10	3.74	0.32	3.76	0.33
	medial	10	3.63	0.31	3.64	0.33
Fesselbein	lateral	10	5.67	0.25	5.66	0.27
	medial	10	5.57	0.27	5.56	0.26
Kronbein	lateral	10	4.00	0.19	4.01	0.18
	medial	10	3.99	0.19	3.97	0.19
Klauenbein	lateral	10	4.62	0.32	4.63	0.34
	medial	10	4.65	0.28	4.67	0.31
Gesamtlänge 1	lateral	10	13.58	0.72	13.60	0.70
	medial	10	13.40	0.70	13.36	0.68
Gesamtlänge 2	lateral	10	18.29	0.79	18.30	0.77
	medial	10	18.12	0.74	18.11	0.78
Gesamtlänge 3	lateral	10	18.02	0.77	18.07	0.76
	medial	10	17.84	0.76	17.84	0.79

Die Kondylen der Ossa metacarpalia und der Ossa metatarsalia unterschieden sich in ihrer Länge nicht. Die Fesselbeine der Beckengliedmassen waren 1.3 mm ($P < 0.05$), die Kronbeine der Beckengliedmassen sogar 3 mm ($P < 0.001$) länger als die entsprechenden Knochen der Schultergliedmassen.

Die Klauenbeine der Schultergliedmassen waren im Mittelwert 2 mm länger ($P < 0.01$) als diejenigen der Beckengliedmassen, welche lediglich 4.65 cm massen.

6.3.3 Knochenbreiten an den Zehen der Schultergliedmassen

Über 80 % der Zehen zeigten die breiteren medialen **Röhrbeinkondylen** und die breiteren medialen **Kronbeine**. Die Breitendifferenz war nur an den Röhrbeinkondylen signifikant ($P_{VL/VR} < 0.001$).

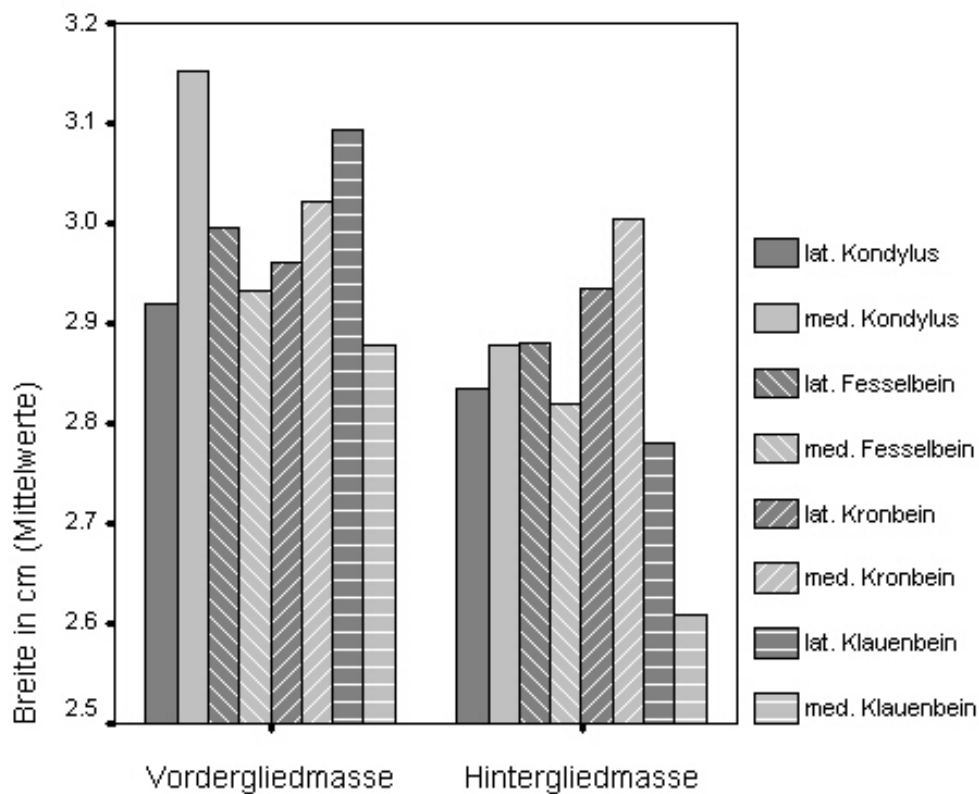


Abb. 11: Breitenvergleich der Röhrbeinkondylen und der Zehenknochen an den Vorder- und Hintergliedmassen von Jungkühen.

Das laterale **Fesselbein** war bei 75 % der untersuchten Zehen breiter als das mediale. Im Mittelwertvergleich war die Breitendifferenz allerdings nur an den rechten Schultergliedmassen signifikant ($P_{VR} = 0.001$).

In 85 % der Fälle waren die lateralen **Klauenbeine** signifikant breiter ($P_{VL/VR} < 0.01$) als die medialen (Tab. 33).

Tab. 33: Verteilung der Breitendominanz (in %) auf die lateralen und medialen Zehenknochen an den Schultergliedmassen von Jungkühen. N = Anzahl der Zehen.

Knochen	N	lateral > medial		lateral = medial		lateral < medial	
		Anzahl	%	Anzahl	%	Anzahl	%
Kondylen	20	0	0	1	5	19	95
Fesselbein	20	15	75	1	5	4	20
Kronbein	20	4	20	0	0	16	80
Klauenbein	20	17	85	0	0	3	15

Tab. 34: Breite der Zehenknochen (in Zentimetern) an den Schultergliedmassen von Jungkühen. N = Anzahl der Tiere.

Knochen		N	links		rechts	
			Mittelwert	Standardabweichung	Mittelwert	Standardabweichung
Kondylen	lateral	10	2.91	0.15	2.93	0.16
	medial	10	3.16	0.15	3.14	0.16
Fesselbein	lateral	10	2.99	0.26	3.00	0.23
	medial	10	2.95	0.24	2.91	0.21
Kronbein	lateral	10	2.98	0.29	2.94	0.22
	medial	10	3.05	0.32	2.99	0.25
Klauenbein	lateral	10	3.11	0.36	3.08	0.31
	medial	10	2.86	0.28	2.90	0.27

6.3.4 Knochenbreiten an den Zehen der Beckengliedmassen

Die medialen und lateralen **Kondylen der Ossa metatarsalia** der Jungkühe unterschieden sich in ihrer Breite nicht. Das **Fesselbein** der lateralen Zehe war signifikant breiter als dasjenige der medialen ($P_{HL/HR} < 0.01$), ein Breitenunterschied konnte bei 85 % der Zehen beobachtet werden.

Bei 75 % der Zehen war das mediale **Kronbein** breiter als das laterale. Diese Breitendifferenz war nur an den linken Beckengliedmassen signifikant ausge-

prägt ($P_{HL} < 0.01$). Bei den **Klauenbeinen** konnte ein Breitenunterschied zugunsten der lateralen Klauenbeine gezeigt werden. Er war jedoch lediglich an den rechten Beckengliedmassen signifikant ($P_{HR} < 0.01$).

Tab. 35: Breite der Zehenknochen (in Zentimetern) an den Beckengliedmassen von Jungkühen. N = Anzahl der Tiere.

Knochen		N	links		rechts	
			Mittelwert	Standardabweichung	Mittelwert	Standardabweichung
Kondylen	lateral	10	2.82	0.16	2.85	0.17
	medial	10	2.90	0.19	2.86	0.20
Fesselbein	lateral	10	2.88	0.20	2.89	0.17
	medial	10	2.82	0.18	2.82	0.17
Kronbein	lateral	10	2.91	0.21	2.96	0.25
	medial	10	3.02	0.24	2.99	0.23
Klauenbein	lateral	10	2.74	0.21	2.82	0.21
	medial	10	2.64	0.20	2.57	0.24

Tab. 36: Verteilung der Breitendominanz (in %) auf die lateralen und medialen Zehenknochen an den Beckengliedmassen von Jungkühen. N = Anzahl der Zehen.

Knochen	N	lateral > medial		lateral = medial		lateral < medial	
		Anzahl	%	Anzahl	%	Anzahl	%
Kondylen	20	7	35	2	10	11	55
Fesselbein	20	17	85	1	5	2	10
Kronbein	20	4	20	1	5	15	75
Klauenbein	20	14	70	0	0	6	30

6.4 Messungen an den isolierten Füßen von Altkühen

6.4.1 Knochenlängen an den Zehen der Schultergliedmassen

Mit Ausnahme des Klauenbeines waren die Zehenknochen der lateralen Zehe bei ≥ 90 % der untersuchten Zehen länger als medial (Abb. 12). Die Längendifferenz war sowohl an den **Röhrbeinkondylen** als auch bei den **Fessel-** und **Kronbeinen** signifikant (Röhrbeinkondylen $P_{VL} < 0.05$, $P_{VR} < 0.01$; Fesselbeine $P_{VL} = 0.001$, $P_{VR} < 0.01$; Kronbeine $P_{VL} < 0.001$, $P_{VR} = 0.001$).

Bei der **Klauenbeinlänge** der untersuchten Zehen konnte kein statistisch signifikanter Unterschied festgestellt werden. Bei 55 % der Zehen waren die medialen Klauenbeine länger als die lateralen, in 15 % der Fälle waren beide Klauenbeine einer Gliedmasse exakt gleich lang.

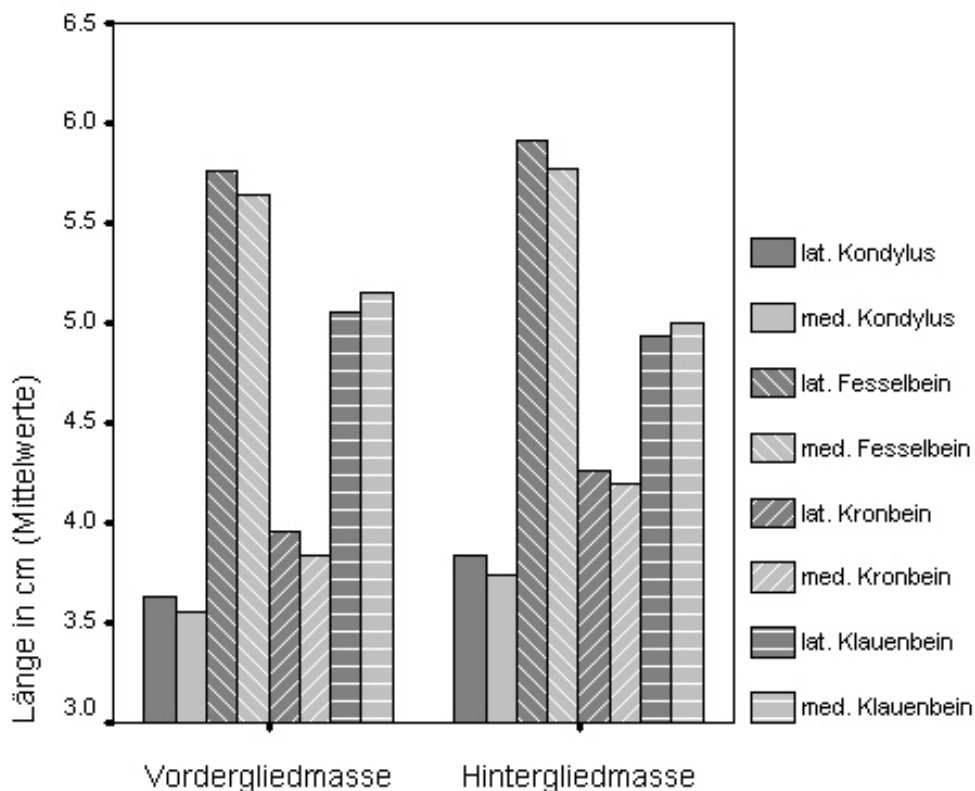


Abb. 12: Längenvergleich der Röhrbeinkondylen und der Zehenknochen an den Vorder- und Hintergliedmassen von Altkühen.

Beim Vergleich der **Gesamtlängen** zeigten ≥ 75 % der Zehen eine längere laterale Zehenachse. Der Längenunterschied war mit Ausnahme der Gesamtlänge 2 der linken Schultergliedmassen signifikant (Gesamtlänge 1 $P_{VL/VR} < 0.001$; Gesamtlänge 2 $P_{VR} < 0.05$; Gesamtlänge 3 $P_{VL/VR} < 0.05$). Er betrug auf Höhe des Klauengelenkes im Mittelwert 2.5 mm (Gesamtlänge 1), auf Höhe der Klauenbeinspitze bei Gesamtlänge 2 noch 1.3 mm und bei Gesamtlänge 3 2.1 mm.

Tab. 37: Länge der Zehenknochen (in Zentimetern) an den Schultergliedmassen von Altkühen. N = Anzahl der Tiere.

Knochen		N	links		rechts	
			Mittelwert	Standardabweichung	Mittelwert	Standardabweichung
Kondylen	lateral	10	3.62	0.21	3.64	0.20
	medial	10	3.54	0.26	3.57	0.20
Fesselbein	lateral	10	5.76	0.35	5.76	0.35
	medial	10	5.64	0.37	5.65	0.38
Kronbein	lateral	10	3.95	0.27	3.95	0.28
	medial	10	3.82	0.25	3.86	0.25
Klauenbein	lateral	10	5.06	0.29	5.06	0.25
	medial	10	5.18	0.28	5.13	0.25
Gesamtlänge 1	lateral	10	13.47	0.79	13.51	0.79
	medial	10	13.20	0.86	13.28	0.79
Gesamtlänge 2	lateral	10	18.48	0.99	18.52	0.90
	medial	10	18.36	1.09	18.39	0.92
Gesamtlänge 3	lateral	10	18.38	0.99	18.42	0.91
	medial	10	18.17	1.02	18.21	0.95

Tab. 38: Verteilung der Längendominanz (in %) auf die lateralen und medialen Zehenknochen an den Schultergliedmassen von Altkühen. N = Anzahl der Zehen.

Knochen	N	lateral > medial		lateral = medial		lateral < medial	
		Anzahl	%	Anzahl	%	Anzahl	%
Kondylen	20	18	90	0	0	2	10
Fesselbein	20	19	95	1	5	0	0
Kronbein	20	20	100	0	0	0	0
Klauenbein	20	6	30	3	15	11	55
Gesamtlänge 1	20	20	100	0	0	0	0
Gesamtlänge 2	20	15	75	0	0	5	25
Gesamtlänge 3	20	16	80	1	5	3	15

6.4.2 Knochenlängen an den Zehen der Beckengliedmassen

Die **Röhrbeinkondylen**, die **Fessel-** und die **Kronbeine** der lateralen Zehe waren signifikant länger als diejenigen der medialen (Röhrbeinkondylen $P_{HL/HR} < 0.001$; Fesselbeine $P_{VR/HL} < 0.01$; Kronbeine $P_{HL} < 0.01$, $P_{HR} < 0.05$). An den **Klauenbeinen** konnte kein Längenunterschied festgestellt werden.

Bezüglich der **Gesamtlängen 1, 2 und 3** konnte eine in ≥ 85 % der untersuchten Zehen bestehende Längendifferenz zwischen der längeren lateralen Zehe und der kürzeren medialen Zehe festgestellt werden.

Tab. 39: Längendifferenz (in Millimetern) zwischen medialer und lateraler Zehe von Altkühen. N = Anzahl der Zehen.

	N	Schultergliedmassen	Beckengliedmassen
Gesamtlänge 1	20	+2.5*	+2.5*
Gesamtlänge 2	20	+1.3	+2.0
Gesamtlänge 3	20	+2.1	+2.5 ^(*)

+ = laterale Zehe länger, * = signifikant bei $p < 0.01$, ^(*) = linke Gliedmassen $p < 0.05$, rechte Gliedmassen $p < 0.01$.

Der Längenunterschied war mit Ausnahme der Gesamtlänge 2 der linken Beckengliedmassen signifikant (Gesamtlänge 1 $P_{HL} < 0.001$, $P_{HR} = 0.001$; Gesamtlänge 2 $P_{HR} = 0.001$; Gesamtlänge 3 $P_{HL} < 0.05$, $P_{HR} < 0.001$). Die mediale und die längere laterale Gesamtlänge 3 unterschieden sich um 2.5 mm deutlich, die Längendifferenz machte 1.33 % der durchschnittlichen Gesamtlängen 3 aus. An den Schultergliedmassen entsprach der Längenunterschied von 2.1 mm lediglich 1.15 % der Gesamtlängen 3.

Tab. 40: Länge der Zehenknochen (in Zentimetern) an den Beckengliedmassen von Altkühen. N = Anzahl der Tiere.

Knochen		N	links		rechts	
			Mittelwert	Standardabweichung	Mittelwert	Standardabweichung
Kondylen	lateral	10	3.85	0.28	3.83	0.19
	medial	10	3.75	0.30	3.73	0.22
Fesselbein	lateral	10	5.92	0.40	5.91	0.40
	medial	10	5.78	0.40	5.77	0.38
Kronbein	lateral	10	4.26	0.26	4.28	0.28
	medial	10	4.18	0.23	4.21	0.26
Klauenbein	lateral	10	4.91	0.27	4.96	0.27
	medial	10	5.04	0.34	4.96	0.24
Gesamtlänge 1	lateral	10	14.17	0.88	14.16	0.83
	medial	10	13.91	0.88	13.93	0.82
Gesamtlänge 2	lateral	10	19.13	0.98	19.19	0.94
	medial	10	19.00	1.14	18.93	0.95
Gesamtlänge 3	lateral	10	18.94	1.01	18.97	1.00
	medial	10	18.75	1.15	18.66	0.97

Tab. 41: Verteilung der Längendominanz (in %) auf die lateralen und medialen Zehenknochen an den Beckengliedmassen von Altkühen. N = Anzahl der Zehen.

Knochen	N	lateral > medial		lateral = medial		lateral < medial	
		Anzahl	%	Anzahl	%	Anzahl	%
Kondylen	20	18	90	1	5	1	5
Fesselbein	20	19	95	1	5	0	0
Kronbein	20	17	85	0	0	3	15
Klauenbein	20	9	45	1	5	10	50
Gesamtlänge 1	20	19	95	0	0	1	5
Gesamtlänge 2	20	17	85	0	0	3	15
Gesamtlänge 3	20	18	90	0	0	2	10

Sowohl hinsichtlich der Röhrbeinkondylen ($P = 0.001$) als auch der Fessel- und der Kronbeine (Fesselbein $P < 0.05$; Kronbein $P < 0.001$) waren die Knochen der Beckengliedmassen signifikant länger als diejenigen der Schultergliedmassen. Bei den Röhrbeinkondylen betrug die Längendifferenz 2 mm, bei den Fesselbeinen 1.4 mm und bei den Kronbeinen 3.3 mm. An den Beckengliedmassen waren die Kondylen durchschnittlich 3.79 cm lang, die Fesselbeine 5.84 cm und die Kronbeine 4.23 cm.

Die Klauenbeine der untersuchten Schultergliedmassen waren mit durchschnittlich 5.11 cm signifikant länger ($P < 0.05$) als diejenigen der Beckengliedmassen mit 4.97 cm.

6.4.3 Knochenbreiten an den Zehen der Schultergliedmassen

Bei 85 % der untersuchten Zehen waren die medialen **Röhrbeinkondylen** breiter als die lateralen, der Breitenunterschied war signifikant ($P_{VL/VR} < 0.01$).

Das **Fesselbein** war bei 75 % der lateralen Zehen breiter, wobei allerdings nur an den linken Schultergliedmassen ein signifikanter Unterschied ($P_{VL} < 0.05$) bestand.

Tab. 42: Verteilung der Breitendominanz (in %) auf die lateralen und medialen Zehenknochen an den Schultergliedmassen von Altkühen. N = Anzahl der Zehen.

Knochen	N	lateral > medial		lateral = medial		lateral < medial	
		Anzahl	%	Anzahl	%	Anzahl	%
Kondylen	20	2	10	1	5	17	85
Fesselbein	20	15	75	0	0	5	25
Kronbein	20	4	20	3	15	13	65
Klauenbein	20	19	95	1	5	0	0

Bei den **Kronbeinen** konnte kein Breitenunterschied festgestellt werden, während die lateralen **Klauenbeine** signifikant breiter als die medialen waren ($P_{HL} < 0.001$, $P_{HR} < 0.01$).

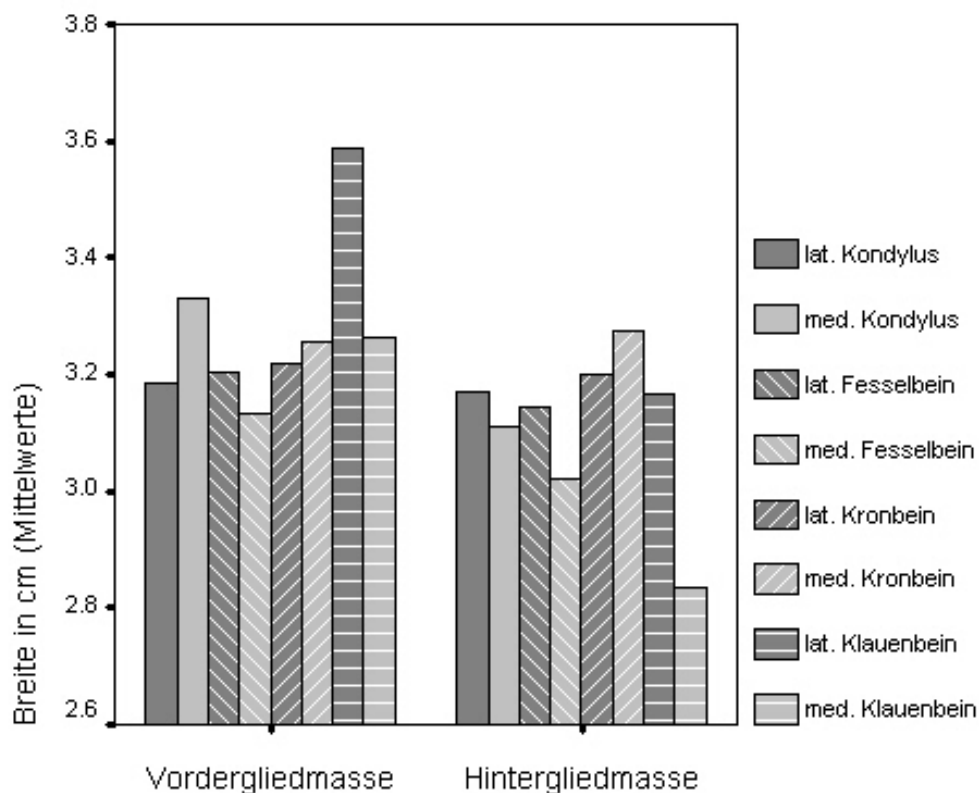


Abb. 13: Breitenvergleich der Röhreinkondylen und der Zehenknochen an den Vorder- und Hintergliedmassen von Altkühen.

Tab. 43: Breite der Zehenknochen (in Zentimetern) an den Schultergliedmassen von Altkühen. N = Anzahl der Tiere.

Knochen		N	links		rechts	
			Mittelwert	Standardabweichung	Mittelwert	Standardabweichung
Kondylen	lateral	10	3.18	0.20	3.19	0.18
	medial	10	3.35	0.22	3.31	0.19
Fesselbein	lateral	10	3.20	0.20	3.21	0.23
	medial	10	3.14	0.18	3.13	0.16
Kronbein	lateral	10	3.20	0.21	3.24	0.23
	medial	10	3.26	0.23	3.25	0.24
Klauenbein	lateral	10	3.56	0.28	3.62	0.42
	medial	10	3.25	0.21	3.27	0.22

6.4.4 Knochenbreiten an den Zehen der Beckengliedmassen

Bezüglich der **Kondylenbreite** konnte an den Beckengliedmassen kein Unterschied zwischen medialer und lateraler Zehe nachgewiesen werden. Deutlich war der Breitenunterschied dafür bei den **Fesselbeinen**. Das laterale Fesselbein war bei 100 % der untersuchten Zehen breiter (Tab. 44), die Breitendifferenz war signifikant ($P_{HL/HR} < 0.001$). Bei 75 % der untersuchten Tiere waren das mediale **Kronbein** breiter ausgebildet als das laterale, der Unterschied war jedoch nur an den linken Beckengliedmassen signifikant ($P_{HL} < 0.01$). Die lateralen **Klauenbeine** waren signifikant breiter als die medialen ($P_{HR} < 0.001$, $P_{HL} = 0.001$).

Tab. 44: Verteilung der Breitendominanz (in %) auf die lateralen und medialen Zehenknochen an den Hintergliedmasse von Altkühen. N = Anzahl der Zehen.

Knochen	N	lateral > medial		lateral = medial		lateral < medial	
		Anzahl	%	Anzahl	%	Anzahl	%
Kondylen	20	13	65	1	5	6	30
Fesselbein	20	20	100	0	0	0	0
Kronbein	20	3	15	2	10	15	75
Klauenbein	20	20	100	0	0	0	0

Tab. 45: Breite der Zehenknochen (in Zentimetern) an den Beckengliedmassen von Altkühen. N = Anzahl der Tiere.

Knochen		N	links		rechts	
			Mittelwert	Standardabweichung	Mittelwert	Standardabweichung
Kondylen	lateral	10	3.16	0.15	3.18	0.22
	medial	10	3.11	0.17	3.12	0.14
Fesselbein	lateral	10	3.13	0.19	3.16	0.21
	medial	10	3.01	0.18	3.03	0.17
Kronbein	lateral	10	3.17	0.17	3.23	0.20
	medial	10	3.28	0.15	3.27	0.14
Klauenbein	lateral	10	3.12	0.27	3.21	0.30
	medial	10	2.83	0.17	2.84	0.21

6.5 Winkelmessungen zwischen Röhrbein-/ Epiphysenfugenachse

Bei den **Kälbern** war der Fugenwinkel der Beckengliedmassen signifikant kleiner als an den Schultergliedmassen ($P < 0.05$). Bei 90 % der untersuchten Schultergliedmassen war der Winkel grösser als 90° , an den Beckengliedmassen war der Winkel lediglich bei 45 % der untersuchten Zehen grösser als 90° . Der Fugenwinkel der rechten Schultergliedmassen war signifikant grösser als derjenige der linken Schultergliedmassen ($P < 0.05$), zwischen den Fugenwinkeln der beiden Beckengliedmassen konnte kein Unterschied festgestellt werden.

Bei den untersuchten Zehen der **Rinder** konnte kein signifikanter Unterschied der Winkelung zwischen Röhrbein- und Zehenachse gefunden werden, weder beim Vergleich der Schulter- mit der Beckengliedmassen noch zwischen den beiden Schulter- respektive den beiden Beckengliedmassen untereinander.

Tab. 46: Winkel zwischen Röhrbein- und Epiphysenfugenachse (in °) an den Vorder- und Beckengliedmassen von Kälbern, Rindern, Jung- und Altkühen. N = Anzahl der Zehen.

		N	Mittelwerte	Standardabweichung
Kälber	Schultergliedmassen	20	91.62	1.42
	Beckengliedmassen	20	90.43	1.01
Rinder	Schultergliedmassen	20	89.93	1.81
	Beckengliedmassen	20	90.27	1.07
Jungkühe	Schultergliedmassen	20	90.06	0.96
	Beckengliedmassen	20	91.18	1.06
Altkühe	Schultergliedmassen	20	89.11	0.67
	Beckengliedmassen	20	90.79	1.32

Der Fugenwinkel der **Jungkühe** war an den Beckengliedmassen signifikant grösser als an den Schultergliedmassen ($P < 0.05$). Bei über 60 % der Zehen der Schultergliedmassen sowie über 80 % der Zehen der Beckengliedmassen war der gemessene Fugenwinkel grösser als 90 °. Der Fugenwinkel der linken Gliedmassen war signifikant grösser als derjenige der rechten Gliedmassen ($P < 0.05$).

Tab. 47: Verteilung des Fugenwinkels (in %) bei Kälbern, Rindern, Jung- und Altkühen. N = Anzahl der Zehen.

Alterskategorie		N	Winkel > 90°		Winkel = 90°		Winkel < 90°	
			Anzahl	%	Anzahl	%	Anzahl	%
Kälber	Vglm	20	18	90	0	0	2	10
	Hglm	20	9	45	0	0	11	55
Rinder	Vglm	20	8	40	0	0	12	60
	Hglm	20	10	50	1	5	9	45
Jungkühe	Vglm	20	12	60	0	0	8	40
	Hglm	20	16	80	0	0	4	20
Altkühe	Vglm	20	3	15	1	5	16	80
	Hglm	20	12	60	2	10	6	30

Vglm = Vordergliedmassen, Hglm = Hintergliedmassen.

Bei den untersuchten Gliedmassen der **Altkühe** unterschied sich der Fugenwinkel zwischen linken und rechten Zehen nicht. An den Beckengliedmassen war

der Fugenwinkel signifikant grösser als an den Schultergliedmassen ($P < 0.05$). An den Schultergliedmassen war der gemessene Winkel bei 80 % der untersuchten Gliedmassen kleiner als rechtwinklig.

6.6 Zusammenfassung der Ergebnisse

Bei allen vier Altersgruppen waren sowohl an den Schulter- wie auch an den Beckengliedmassen die Röhrbeinkondylen, Fessel- und Kronbeine der lateralen Zehen im Mittelwert länger als diejenigen Knochen der entsprechenden medialen Zehen. Eine Ausnahme davon bildeten die Kondylen der Ossa metacarpalia der Kälber, bei denen an den linken Gliedmassen kein Längenunterschied festgestellt werden konnte und an den rechten Schultergliedmassen ein signifikant längerer medialer Kondylus bestand.

Bei den Röhrbeinkondylen war der Längenunterschied an den Beckengliedmassen häufiger signifikant als an den Schultergliedmassen, bei den Fesselbeinen war der Unterschied an allen vier Gliedmassen bei allen Altersgruppen deutlich signifikant.

An den Schultergliedmassen waren die lateralen Kronbeine bei allen Alterskategorien signifikant länger als die medialen, an den Beckengliedmassen fand sich eine deutliche Längendifferenz lediglich bei den Rindern und Altkühen. Das Klauenbein verhielt sich bezüglich der Länge gegensätzlich zu den anderen Zehenknochen. Mit Ausnahme von wenigen Gliedmassen war das mediale Klauenbein länger als das laterale. Der Längenunterschied war an den Schultergliedmassen regelmässiger signifikant ausgeprägt als an den Beckengliedmassen.

Die Mittelwerte der Gesamtlänge 1 waren bei ausnahmslos allen Alterskategorien sowohl an den Schulter- wie auch an den Beckengliedmassen an der lateralen Zehenachse signifikant länger als an der medialen.

Die laterale Gesamtlänge 2 war bei den Rindern, den Jung- und den Altkühen an allen Gliedmassen im Mittelwert grösser als die mediale. Der Längenunterschied war jedoch bei weitem nicht mehr so deutlich ausgeprägt wie auf Höhe des Klauengelenkes. Er war lediglich an den Beckengliedmassen bei den Jung- und Altkühen statistisch signifikant.

Die Gesamtlänge 3 (Abb. 14) war an allen Zehen, mit Ausnahme derer der linken Beckengliedmassen der Kälber, lateral signifikant länger als medial. Die Signifikanz war an den Beckengliedmassen deutlicher als an den Schultergliedmassen.

Die Kronbeine der Beckengliedmassen waren bei allen Altersgruppen hochsignifikant länger als diejenigen der Schultergliedmassen ($P \leq 0.001$). Bei den Altkühen waren auch die Röhrbeinkondylen und die Fesselbeine der Beckengliedmassen signifikant länger als die entsprechenden Knochen der Schultergliedmassen. Die Klauenbeine waren bei den Rindern, Jung- und Altkühen an den Schultergliedmassen signifikant länger als an den Beckengliedmassen.

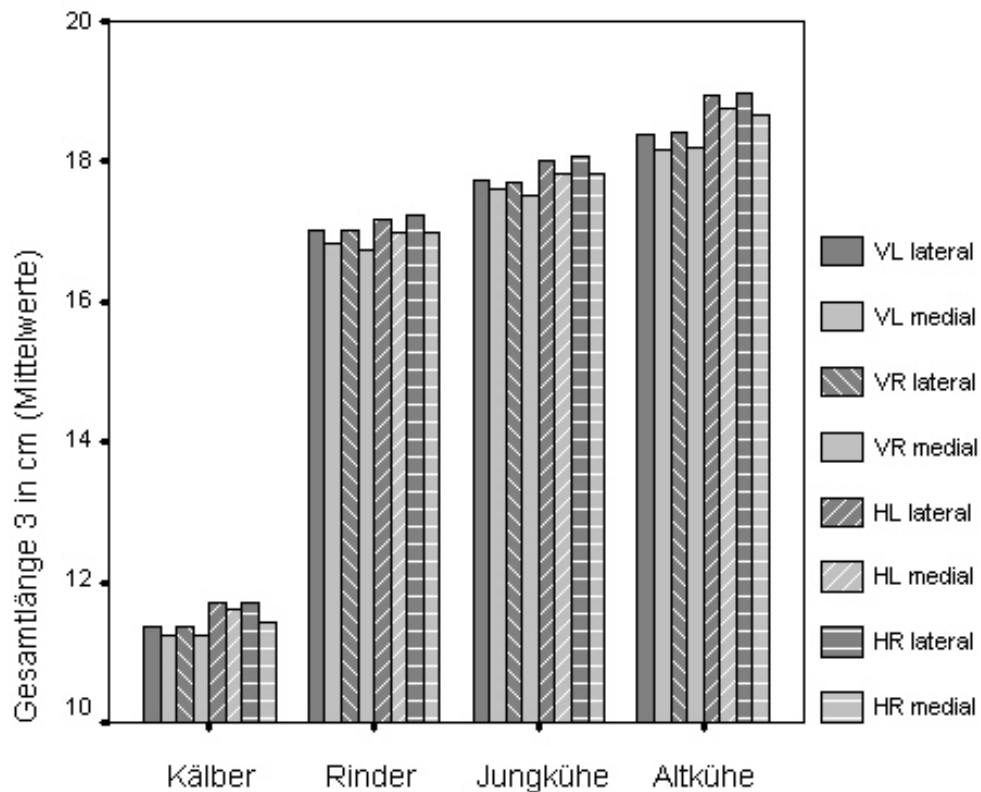


Abb. 14: Vergleich der Mittelwerte der Gesamtlänge 3 zwischen lateraler und medialer Zehe bei Kälbern, Rindern, Jung- und Altkühen. VR bzw. VL: rechte bzw. linke Vordergliedmasse, HR bzw. HL: rechte bzw. linke Hintergliedmasse.

Die medialen Gelenkrollen der Ossa metacarpalia waren deutlich breiter als die entsprechenden der lateralen Knochen. An den Beckengliedmassen konnte bezüglich Kondylenbreite kein Unterschied zwischen medialer und lateraler Zehe festgestellt werden.

Bei den Kälbern und Rindern konnte bezüglich der Fesselbeinbreite kein signifikanter Unterschied zwischen medialer und lateraler Zehe festgestellt werden. Bei den Jung- und Altkühen war das laterale Fesselbein der Beckengliedmassen signifikant breiter als das mediale. Beim Breitenvergleich der Kronbeine der medialen und lateralen Zehe konnten keine einheitlichen Resultate erhalten werden. Das laterale Klauenbein war im Mittelwertvergleich immer breiter angelegt

als das mediale, die Breitendifferenz war mit Ausnahme der linken Beckengliedmassen der Jungkühe stets signifikant.

Bei der Winkelung zwischen Röhrbein- und Epiphysenfugenachse konnte eine deutliche Veränderung mit dem Alter gesehen werden. War bei den Kälbergliedmassen der Winkel an den Schultergliedmassen signifikant grösser als an den Beckengliedmassen, konnte bei den Rindern kein Unterschied zwischen Vorder- und Beckengliedmassen gesehen werden. Bei den Jung- und Altkühen trat eine Umkehrung der Verhältnisse, hin zu einem an den Beckengliedmassen im Mittelwert signifikant grösseren Winkel, ein.

7. Diskussion

In der vorliegenden Arbeit wurden die Zehen von Rindern verschiedenen Alters daraufhin untersucht, ob ein anatomischer Längenunterschied zwischen medialer und lateraler Zehe besteht. Die Ausgangshypothese war, dass beim Rind die Aussenzehen länger als die Innenzehen sind, mithin eine Asymmetrie der Zehen vorliegt. Bisher lagen schon mehrere Arbeiten (NACAMBO 2004, PARAL et al. 2004, SCHWARZMANN 2005) vor, die Hinweise erbrachten, dass zumindest an den Beckengliedmassen eine längere laterale Zehe vorhanden ist. Die genannten Arbeiten umfassten jedoch nicht alle Altersklassen von Rindern und vor allem wurde nicht bis zur Klauenbeinspitze untersucht, so dass letztlich keine gültige Aussage darüber getroffen werden konnte, ob die Gesamtlänge der Aussenzehen grösser als die der Innenzehen war. Die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung erbringen erstmals den Nachweis für einen derartigen Längenunterschied beim Rind. Jedoch muss festgestellt werden, dass dieser nicht bei allen untersuchten Zehen gleichgerichtet vorliegt, sondern dass sowohl individuelle als auch Altersunterschiede bestehen, und ein gewisser Prozentsatz der Rinder gleich lange oder längere mediale Zehen hat.

Die Methodik der Ausmessung von digitalen Röntgenaufnahmen in der vorliegenden Untersuchung stützte sich auf mehrere Vorarbeiten, namentlich die von Kummer et al. (2004) und von Schwarzmann (2005). Kummer et al. (2004) hielten fest, dass neben einer guten Computersoftware zur Ausmessung von Röntgenbildern auch eine standardisierte Röntgentechnik notwendig war, damit eine gute Reproduzierbarkeit der Messungen erreicht werden konnte. Damit die genannten Voraussetzungen in der vorliegenden Arbeit gewährleistet waren, wurden die Röntgenbilder nach einem standardisierten Protokoll erstellt. Dazu wurden die Zehen in gestreckter Position auf den Röntgenkassetten fixiert und Aufnahmen im palmaro-/ plantarodorsalen Strahlengang erstellt. Die Gelenkwinkelung stimmte bei dieser Lagerung nicht mit der natürlichen Stellung der Zehen

unter Belastung überein, die Knochenlängen konnten dafür aber bei allen Tieren gut verglichen werden. Bei einer Lagerung der Zehen auf der palmaren respektive plantaren Seite der Gliedmassen und der Anfertigung von dorsopalmaren/-plantaren Bildern wären die Zehengelenke wegen den darunter liegenden Afterklauen unregelmässig gebeugt worden, so dass die Messergebnisse einen methodischen Fehler aufgewiesen hätten. Die Längenmessungen an den Röhrlbeinkondylen, den Fessel-, Kron- und Klauenbeinen bereiteten aufgrund der standardisierten Aufnahmeposition und der festgelegten Messpunkte keine Schwierigkeiten und der Übergang der Knochen zu den Gelenkspalten war stets gut sichtbar. Latero-mediale Aufnahmen wurden nicht angefertigt. Diese hätten weitere Informationen (SCHWARZMANN 2005) über die Zehenlänge, insbesondere über das pyramidenförmige Klauenbein liefern können. Nicht zuletzt hätte das Klauenbein bis zur Sohlenfläche, die in vivo den Boden berührt, gemessen werden können. Zur isolierten Darstellung der Zehen wäre eine Längsteilung der Zehen notwendig gewesen, die zu einer unnatürlichen Winkelung der einzelnen Knochen geführt und die Messergebnisse verfälscht hätte.

Bei Präparaten kann die natürliche Winkelung und die Stellung der Zehenknochen unter Belastung nicht nachvollzogen werden. Intra vitam könnten die Muskel- und Sehnenfunktionen sowie Gliedmassenstellungen die Unterschiede in der Zehenlänge modifizieren - also entweder verstärken oder ausgleichen. Am lebenden Rind sind bisher keine Untersuchungen darüber angestellt worden, ob die Zehenwinkel von lateraler und medialer Klaue unterschiedlich sind. Zumindest mit dem blossen Auge fällt bei der klinischen Untersuchung kein Unterschied auf. Es darf jedoch vermutet werden, dass eine Schrägstellung der Gliedmassen, beim Rind typisch und charakteristisch als „kuhhessige“ Stellung der Beckengliedmassen bezeichnet, mit einem Längenunterschied in Zusammenhang zu bringen ist. Eine lateral längere Zehe dürfte eine zehenweite Stellung erzwingen, wenn beide Klauen gleichmässig belastet werden sollen. In-vivo Röntgenaufnahmen an belasteten Gliedmassen könnten genauere Informa-

tionen über das Ausmass der Zehenlänge erbringen. Sie sind aber wohl nicht einfach zu standardisieren und auszuwerten. Immerhin wurde auch durch die Messung von Bodenreaktionskräften und Druckbelastungen (VAN DER TOL et al. 2002 und 2003, KEHLER und GERWING 2004) eine signifikante Asymmetrie zwischen den Klauen der Beckengliedmassen nachgewiesen. Dies und die Tatsache, dass trotz funktioneller Klauenpflege bei Kühen meist die Aussenklauen der Beckengliedmassen hypertrophieren und erkranken, spricht für das Vorhandensein einer längeren Aussenzehe.

Auf den Röntgenbildern war eine projektionsbedingte Vergrösserung der Knochenschatten nicht zu vermeiden, da wegen der Weichteile der Abstand zwischen den zu untersuchenden Knochen und den Röntgenplatten nicht annulliert werden konnte. Die durch das Anfertigen von Röntgenbildern bedingte Verzerrung und Vergrösserung der Knochen (SCHWARZMANN 2005) wurde in der vorliegenden Arbeit jedoch dadurch minimiert, dass ein Bleimassstab mit Hilfe von Klötzchen auf Knochenhöhe positioniert wurde. Dies hatte zur Folge, dass der Massstab etwa im gleichen Verhältnis wie die Knochen vergrössert wurde. Anhand des Bleimassstabs wurde die Referenzlänge definiert, so dass dadurch eine grösstmögliche Annäherung an die natürlichen Masse angestrebt wurde.

Die Röntgenbilder wurden mit Hilfe von digitalen Röntgenkassetten angefertigt und nicht ausgedruckt, sondern digital gespeichert. Diese digitalen Röntgenaufnahmen erlaubten eine Korrektur von Belichtungsfehlern. Weiterhin wurde für die vorliegende Arbeit die Belichtung der Bilder mit der Computersoftware Metron PXTM noch variiert, so dass die Konturen aller Zehenknochen gut erkennbar waren. Die Originalaufnahmen blieben jedoch bei einer Veränderung der Bilder stets separat abgespeichert erhalten. Von Nutzen war die Nachbearbeitung vor allem für die Darstellung der Klauenbeinspitze, denn diese war oft geringgradig überbelichtet. Mit der digitalen Nachbearbeitung konnte das Problem der fehlenden Kontur der Klauenbeinspitze, das Schwarzmänn (2005) bei

der Vermessung der Zehenknochen von Kälbern in analogen Aufnahmen hatte, gelöst werden.

Zur Optimierung der Messgenauigkeit wurden die angefertigten Röntgenbilder der Rinder, Jung- und Altkühe im Messprogramm Metron PXTM auf 150 %, diejenigen der Kälber auf 200 % des Originals vergrößert. Vargas (2004) konnte zeigen, dass die Messgenauigkeit bei einer Vergrößerung auf 150 % gegenüber einer Verkleinerung auf 75 % überlegen war, da ein deutlich kleinerer Variationskoeffizient der Messdaten resultierte. Vargas (2004) führte keine Vergleichsmessungen bei 200 % Vergrößerung durch, so dass für die vorliegende Arbeit nur angenommen werden kann, dass sich die Messergebnisse dadurch verbesserten und nicht verschlechterten. Eine Bildvergrößerung setzte, wie oben erwähnt, eine gute Qualität der Röntgenbilder voraus. Die Bildqualität war in der vorliegenden Arbeit durch das standardisierte Röntgenprotokoll und das Verwenden von Präparaten mit dem damit verbundenen Ausschluss von Bewegungsunschärfe optimiert. Die verwendeten Folien (IP Cassette Type 3A, Fuji) und Entwicklungsmaschine (Einlesestation FCR AC-3CS, Fuji, 1996; Software Philips 2005) entsprachen dem neuesten Stand der Technik.

Damit ein Ausgangspunkt für die Längenmessung der Röhreinkondylen sowie der Gesamtlänge der Zehen gefunden werden konnte, musste eine Grundlinie definiert werden. Schwarzmann (2005) legte als Grundlinie eine Gerade durch die Epiphysenfuge. In der vorliegenden Arbeit wurden jedoch nicht nur Jungtiere mit deutlich sichtbarem Epiphysenfugenverlauf untersucht, sondern auch adulte Kühe, bei denen die Wachstumsfuge geschlossen und damit entsprechende Bezugspunkte nicht mehr erkennbar waren. Damit eine bei den verschiedenen Altersgruppen anwendbare Grundlinie gezeichnet werden konnte, wurde eine zur Zehenachse (Mittellinie zwischen den Zehen) rechtwinklige Linie auf Höhe der Epiphysenfuge gezogen. Bei den Kühen führte dieses Vorgehen zu einer gewissen Variabilität bezüglich des Abstandes zum Sagittalkamm der Zehengelenkwalzen der Röhreine, so dass bei ihnen keine verlässlichen Angaben zur

tatsächlichen Länge der Epiphysen gemacht werden können. Keller (2007) wählte als Grundlinie eine zur Röhrbeinachse rechtwinklige Linie. Der Verlauf der Röhrbeinachse stimmte nicht mit dem Verlauf der Zehenachse überein. In der vorliegenden Arbeit wurde nicht die Röhrbein-, sondern die Zehenachse als Orientierung gewählt, weil die Zehenachse sicherer bestimmt werden konnte und die Epiphysenfuge häufiger rechtwinklig zur Zehenachse als zur Röhrbeinachse verlief. Trotzdem ergab sich bei einigen Präparaten das Problem, dass die Epiphysenfuge nicht genau im rechten Winkel zur Zehenachse stand und die eingezeichnete Linie somit nicht immer exakt den Epiphysenfugenverlauf widerspiegelte. Deswegen sind geringe Abweichungen der gemessenen Werte für die Gelenkwalzen von den tatsächlichen Längen möglich. Auch die Gesamtlängen 1 und 2 werden durch diese Unsicherheit mit beeinflusst.

In der vorliegenden Arbeit wurden die Füße sowohl von männlichen als auch von weiblichen Kälbern und Rindern verwendet, so dass es zu einer Streuung der Werte mit daraus resultierenden grossen Standardabweichungen kam. Bei den älteren Tieren wurden lediglich weibliche Tiere in den Versuch aufgenommen. Weiterhin wurden Tiere unterschiedlicher Rassen verwendet. Die Messergebnisse sind demnach bezüglich der Knochenlängen und -breiten nicht einheitlich. Der Vergleich der Unterschiede in den Längen und Breiten der lateralen Zehe verglichen mit derjenigen der medialen Zehe wird aber dadurch nicht beeinflusst. Die Längenunterschiede gewinnen eher an Aussagekraft, wenn sie - wie in der vorliegenden Arbeit - unabhängig von Geschlecht und Rasse vorhanden sind.

Bei der Länge der Röhrbeinkondylen konnte an den Beckengliedmassen der Kälber sowie Jung- und Altkühe ein signifikant längerer lateraler Kondylus festgestellt werden ($P < 0.01$), währenddem an den Schultergliedmassen lediglich bei den Rindern ein solch klar signifikanter Längenunterschied bestand ($P < 0.01$). Auch andere Autoren (NACAMBO 2004, SCHWARZMANN 2005) konnten an den von ihnen untersuchten Zehen einen Längenunterschied zwi-

schen medialem und lateralem Röhrbeinkondylus feststellen, und dies sowohl an der Schulter- als auch an der Beckengliedmasse. Die in der vorliegenden Arbeit erhaltenen Ergebnisse zeigten auch Übereinstimmung mit den Resultaten von Paral et al. (2004), welcher jedoch nicht die Kondylenlänge, sondern die mediale und laterale Röhrbeinlänge bestimmte. Diese Autoren wiesen an den Beckengliedmassen eine deutlich längere laterale Röhrbeinlänge nach, konnte aber an den Vordergliedmassen keine eindeutig längere Knochenseite finden. In der vorliegenden Untersuchung waren die Röhrbeinkondylen der Hintergliedmassen lediglich bei den Altkühen signifikant ($P = 0.001$) länger als diejenigen der Vordergliedmassen, bei den anderen Alterskategorien unterschieden sich die Kondylen der Ossa metacarpalia und -tarsalia in ihrer Länge nicht signifikant. Die unterschiedlich langen Gelenkrollen der Röhrbeine haben zur Folge, dass das Fesselgelenk beim Rind in der lateromedialen Aufnahme nicht exakt getroffen werden kann, weil einer der Röhrbeinkondylen dies verhindert. Zudem erschweren die axial und abaxial unterschiedlich hohen Anteile der Gelenkrollen die Lokalisation von Veränderungen im Röntgenbild.

Die lateralen Fesselbeine aller vier Altersgruppen waren an den Schulter- und Beckengliedmassen deutlich länger als die entsprechenden Knochen der medialen Zehen. Dies stimmt mit den Ergebnissen von Schwarzmann (2005) überein. Gemäss Literatur (RANFT 1936, SCHWARZMANN 2005) waren die Fesselbeine der Hintergliedmassen länger als diejenigen der Vordergliedmassen, bei den von Schwarzmann (2005) untersuchten Kälbern allerdings nur bei Tieren, die älter als 7 Wochen waren. Bei jüngeren Kälbern konnte Schwarzmann (2005) keinen Unterschied zwischen den Fesselbeinen der Schulter- und Beckengliedmassen feststellen. Die in der vorliegenden Arbeit untersuchten Fesselbeine der Kälber zeigten ebenfalls keinen diesbezüglichen Längenunterschied. Weiterhin konnte bei den Fesselbeinen der Rinder kein Längenunterschied zwischen den Knochen der Vorder- und Hintergliedmasse festgestellt

werden. Bei den Jung- und Altkühen waren die Fesselbeine der Hinterfüsse jedoch signifikant länger als diejenigen der Vorderfüsse ($P < 0.05$).

Auch die lateralen Kronbeine waren im Mittelwert bei allen Altersgruppen länger als die medialen. Dieser Längenunterschied war mit Ausnahme der Hintergliedmassen der Kälber sowie der Jungkühe signifikant. Dies entsprach den Ergebnissen von Ranft (1936), jedoch nicht den Ergebnissen von Schwarzmann (2005), die keinen Unterschied in der Kronbeinlänge messen konnte. Bei sämtlichen untersuchten Alterskategorien waren die Kronbeine der Hintergliedmassen deutlich länger als diejenigen Knochen der Vordergliedmassen ($P < 0.001$). Dieses Resultat stimmt überein mit den Untersuchungen von Ranft (1936), jedoch nur teilweise mit denen von Schwarzmann (2005). Sie fand einen Längenunterschied der Kronbeine der Schulter- gegenüber den Beckengliedmassen lediglich bei Tieren im Alter von über 7 Wochen, nicht aber bei jüngeren Kälbern.

Bezüglich der Klauenbeinlänge existieren bereits, wenn auch widersprüchliche, Literaturangaben. In der vorliegenden Arbeit war der Längenwert für die medialen Klauenbeine der Schultergliedmassen von Rindern und Jungkühen signifikant grösser als derjenige der entsprechenden lateralen. Ein diesbezüglicher Längenunterschied konnte bei 90 % der untersuchten Zehen gefunden werden. Dieses Ergebnis überschritt die von Ranft (1936) angegebenen 75 – 85 %, bei denen er eine Längendominanz der medialen Klauenbeine an den Schultergliedmassen fand. An den Beckengliedmassen konnten Ranft (1936) und auch Simon (1963) keinen Unterschied zwischen den Klauenbeinen der medialen und lateralen Zehe finden. In der vorliegenden Arbeit war bei 60 – 70 % der Zehen der Beckengliedmassen der Rinder und Jungkühe das mediale Klauenbein länger. Die medialen Klauenbeine der Kälber und Altkühe unterschieden sich von entsprechenden lateralen Knochen in ihrer Längen nicht signifikant. Bei den Klauenbeinen wird allerdings in der vorliegenden Untersuchung von einer gewissen Variabilität der Messergebnisse ausgegangen, da der Bezugspunkt für die Längenmessung am Processus extensorius lag und dieser sich altersabhängig

verändert (SIMON 1963). Die Standardabweichungen der Klauenbeinlängen unterschieden sich jedoch nicht wesentlich von denjenigen der anderen vermessenen Zehenknochen und stiegen auch nicht mit zunehmendem Alter der Gliedmassen an. Sowohl Ranft (1936) als auch Simon (1963) fanden an den Vordergliedmassen die längeren Klauenbeine als an den Hintergliedmassen. Bei den Tieren in einem Alter von mehr als 10 Monaten konnte dieser Befund durch die vorliegende Arbeit bestätigt werden.

Beim Vergleich der **Gesamtlänge 1** - der Geraden von der Epiphysenfuge bis zum Klauengelenk - von medialer und lateraler Zehe konnte ein auffälliger, signifikanter Niveauunterschied festgestellt werden. Die lateralen Zehen waren bis zum Klauengelenk signifikant länger ($P < 0.01$) als die medialen, und dies sowohl an der Vorder- als auch an den Hintergliedmassen. Die Ergebnisse von Schwarzmann (2005) werden dadurch bestätigt. Schwarzmann konnte bei 92.7% der untersuchten Zehen von Schulter- und Beckengliedmassen einen Niveauunterschied im Klauengelenk (vergleichbar der Gesamtlänge 1 der eigenen Untersuchungen) von Kälbern feststellen. Wenn man die Resultate der hier vorliegenden Arbeit entsprechend auswertet, gelangt man auf den nahezu gleichen Wert von 92.5% (85% an den Schulter- und 100 % an den Beckengliedmassen).

Bei den von Schwarzmann (2005) untersuchten Kälbern (Durchschnittsalter 75.4 Tage) betrug der Längenunterschied an den Schultergliedmassen im Mittelwert 1.59 Millimeter, an den Beckengliedmassen 2.87 Millimeter. Diese Werte entsprechen somit in etwa den in der vorliegenden Untersuchung festgestellten von 1,0 Millimeter an den Schultergliedmassen und 2,1 Millimeter an den Beckengliedmassen, wenn man das geringere Alter (Durchschnittsalter 16.4 Tage) und die Rassenunterschiede der Kälber der eigenen Untersuchung berücksichtigt.

Nicht bei den Kälbern, aber bei den Rindern sowie Jung- und Altkühen der vorliegenden Untersuchung war die laterale Zehe auch bis auf das Niveau der Klau-

enbeinspitze, der **Gesamtlänge 2**, länger ausgebildet als die mediale Zehe. Eine signifikante Ausprägung dieser Längendifferenz fand sich nur an den Beckengliedmassen der Jung- und Altkühe - und bei letzteren auch nur an einer Gliedmasse -, und lediglich eine Tendenz bei Jungrindern. Bei den Kälbern konnte mit dem Mittelwertvergleich der **Gesamtlänge 2** nur an den Beckengliedmassen, nicht aber an den Vordergliedmassen der Kälber ein Längenunterschied gefunden werden; bei ihnen lag die Längendominanz bezüglich der Gesamtlänge 2 an den Schultergliedmassen medial, an den Beckengliedmassen war sie zwischen lateral und medial fast ausgeglichen.

Der beim Vergleich der Mittelwerte der Gesamtlänge 2 weniger offensichtliche Längenunterschied zwischen lateraler und medialer Zehe kam in den Ergebnissen der aufsummierten **Gesamtlänge 3** wieder deutlicher zum Vorschein. Es fand sich eine signifikant längere laterale Zehe sowohl bei den Rindern als auch bei den Jung- und Altkühen, und zwar an den Vorder- und an den Hintergliedmassen. Mit Ausnahme der linken Beckengliedmasse konnte auch bei den Kälbern eine signifikant längere laterale **Gesamtlänge 3** gefunden werden.

Die Frage, welche **Gesamtlänge, 2 oder 3**, am lebenden Tier für einen Längenunterschied entscheidend ist, kann nicht sicher beantwortet werden. Festzustellen ist aber bei beiden Gesamtlängen, dass ausser bei den Kälbern die laterale Zehe im Mittelwert meist signifikant länger ist, insbesondere wenn man den weniger strengen Massstab von $P < 0.05$ anlegt. Neben dem Mittelwertvergleich scheint insbesondere die „Längendominanz“, die die Verteilung des Längenunterschiedes auf die laterale oder mediale Zehe angibt, aussagekräftig. Auch bei diesem Wert hatten die lateralen Zehen bei allen Altersgruppen, bis auf die der Kälber, den weitaus grösseren Prozentsatz inne, insbesondere an den Beckengliedmassen. Wenn man die prozentuale Verteilung der Längendominanz bei allen Tieren zusammenrechnet, ergibt sich für die **Gesamtlänge 2** ein Anteil, mit dem die laterale Zehe länger ist, von 64 % an den Schultergliedmassen und von 80 % an den Beckengliedmassen. In der **Gesamtlänge 3** ist die laterale Ze-

he an den Schultergliedmassen zu 84 % und an den Beckengliedmassen zu 88 % länger als die mediale Zehe. Demzufolge ist nicht nur vom Mittelwert her, sondern auch in der Längendominanz eine Asymmetrie der Zehen des Rindes gegeben. Die Ausgangshypothese wird damit bestätigt, mit der Einschränkung, dass ein geringer Prozentsatz der Rinder gleich lange oder medial längere Zehen aufweist.

Die durch Addition errechnete **Gesamtlänge 3** ist möglicherweise von der Grundlinie auf Höhe der Epiphysenfugen weniger beeinflusst als die zeichnerisch bestimmte **Gesamtlänge 2**, was die deutlichere Längendifferenz der Gesamtlänge 3 gegenüber der Gesamtlänge 2 mit erklären könnte. Die Lage der Grundgeraden könnte auch dafür verantwortlich sein, dass die **Gesamtlängen 2** und **3** sich nicht gleichgerichtet verhalten, das heisst zum Teil widersprüchliche Ergebnisse liefern. Dies kann zwar auch auf fehlerhaften Messungen beruhen, jedoch werden derlei Widersprüche und nicht gleichgerichtete Ergebnisse bei den anderen Arbeiten (RANFT 1936, SIMON 1963, SCHWARZMANN 2004), die sich mit dieser Thematik beschäftigen, ersichtlich. Sie weisen auf die Schwierigkeit hin, anatomische Merkmale zu vermessen. Nicht zuletzt ist es jedoch am wahrscheinlichsten, dass die gemessenen Ungleichheiten tatsächlich vorhanden sind und auf der Variabilität biologischer Systeme beruhen. Auch Keller (2007) stellte in ihrer Arbeit über die Zehenlängen von vier Wildwiederkäuerarten fest, dass zwar bei der Mehrzahl der Füsse die lateralen Zehen länger waren, jedoch bei wenigen Tieren auch gleich lange Zehen und medial längere Zehen vorkamen. Sie wertete dies als Strategie der Evolution, neben den vorherrschenden anatomischen Strukturen eine möglichst grosse Vielfalt zu erhalten, um für allfällige Umweltveränderungen besser gerüstet zu sein.

Eine weitere Auffälligkeit bei den Röntgenmessungen lag darin, dass bei nahezu allen Zehen eine vergleichsweise vermehrte Winkelung des lateralen Klauengelenks (Abb. 6, 7 a und 7 b) sichtbar war. Diese Winkelung war bei allen bis auf 4 Zehen vorhanden; bei diesen lagen alle Zehenknochen geradlinig. Warum die-

se Winkelung trotz der äusserlich symmetrischen Lagerung sowie der symmetrischen Lagerung der Gleichbeine im Röntgenbild nur an der lateralen und nicht an der medialen Zehe auftrat, kann nicht erklärt werden. Eine Vermutung geht dahin, dass eine passive Kontraktion der Gelenkbänder eine Rolle spielt, wobei es wiederum unklar ist, warum diese nur die laterale Zehe betreffen. Zudem ist es unklar, ob diese Winkelung an der belasteten Zehe von lebenden Tieren ausgeprägt ist. Immerhin kann diese Winkelung – zusammen mit dem medial längeren Klauenbein – erklären, warum im Vergleich der **Gesamtlängen 2** ein Längenunterschied zwischen Innen- und Aussenzehe nicht so deutlich ist, als wenn man die Knochenlängen aufsummiert (**Gesamtlänge 3**). Durch diese Winkelung wird die laterale Zehe gegenüber der medialen Zehe verkürzt.

Die in der vorliegenden Untersuchung gemessenen Längenunterschiede betragen nur wenige Millimeter (Tab. 12, Tab. 21, Tab. 30 und Tab. 39). Es erhebt sich die Frage, ob ein derartig geringer Längenunterschied Auswirkungen auf die Klauengesundheit hat, sprich, die auffallende Prädisposition der Aussenklaue der Hintergliedmasse beim Rind für Erkrankungen erklären kann. Da es sich aber bei den Längendifferenzen um Mittelwerte handelt und nicht alle Kühe an Sohlengeschwüren erkranken, ist es denkbar, dass nur Rinder mit einem starken Längenunterschied diese Prädisposition aufweisen. Immerhin bietet der anatomische Längenunterschied einen nachvollziehbaren Ansatz für eine Erklärung der Entstehung von Klauenerkrankungen.

Über die Funktion dieses Längenunterschiedes im Bereich der Zehen kann nur spekuliert werden: Da auch Wildwiederkäuer ihn aufweisen (KELLER 2007), ist er als eine Eigenschaft der Paarhufer, der Artiodactyla, anzusehen. Somit erscheint es logisch, anzunehmen, dass er vorwiegend auf weicheren Böden, wie Sumpflandschaften (Elch), Prärie (Bison), Wald (Damhirsch) und Hochwäldern (Gämse) von Nutzen sein kann. In jüngerer Zeit wurde die überlieferte Erfahrung, dass geschädigte Klauen von Rindern sich auf der Weide wieder erholen können, auch durch Untersuchungen nachgewiesen (FLOWER et al. 2007,

HERNANDEZ-MENDO et al. 2007). Der Nutzen des Längenunterschieds könnte darin liegen, dass die Stabilisierung des Körperschwerpunkts durch eine längere Aussenzehe erleichtert wird. Dafür spricht auch, dass die Schulter- und die Beckengliedmassen eine längere Aussenklaue aufweisen. Wenn die längere Aussenzehe zuerst in den weichen Boden eindringt, kippt die Gliedmasse nachfolgend auf die Innenklaue, erkennbar an der Gliedmassenachse (SCHMID et al. 2006) und dadurch wird einer Instabilität des Rumpfes vorgebeugt.

In der heutigen Haltung steht den Kühen immer weniger ein weicher Boden zur Verfügung. Eine Erholung durch Weidegang erhalten viele Milchkühe nicht mehr. Unter diesen Bedingungen nehmen Klauenerkrankungen rasant zu. Weltweit sind oft 60% der Rinder eines Bestandes von Lahmheiten betroffen, manchmal alle Tiere eines Bestandes. Eigentlich müssten, wenn man evolutionäre Gesichtspunkte zugrunde legt, Kühe mit lateral längeren Zehen (und vermehrt Klauenerkrankungen) mit der Zeit aus den Beständen verschwinden. Jedoch verläuft die Zuchtwahl bisher nicht vordringlich auf dem Schwerpunkt der Klauengesundheit, so dass Tiere mit hoher Milchleistung ohne entsprechende Berücksichtigung des Klauenzustandes ausgesucht werden. Auch wirkt der Mensch der Auslese entgegen, indem er Klauenpflege betreibt und den Niveauunterschied zwischen den Klauen korrigiert (NUSS und PAULUS, 2006). Zudem ist unklar, wie schnell die Evolution auf geänderte Umweltbedingungen reagieren kann, und die Kühe mit gleich langen Klauen sich ausbreiten. Geeigneter als auf eine Anpassung der Kühe zu warten, erscheint ihnen weicher Stallboden und Weidegang anzubieten. Gummimatten, die vermehrt in Laufställen ausgelegt werden, werden von Kühen eindeutig dem harten Stallboden vorgezogen. Sie können jedoch andere Probleme, wie infektiöse Hauterkrankungen oder Dekubitalulzera, hervorrufen.

Die Resultate der Breitenmessungen waren uneinheitlicher und schwieriger interpretierbar als die Längenmessungen. Bezüglich der Kondylenbreite wurde ein

ähnliches Resultat gefunden wie von anderen Autoren (BARTOSIEWICZ 1997). Der mediale Röhrbeinkondylus war an den Vordergliedmassen deutlich breiter als der laterale ($P \leq 0.01$). An der Hintergliedmasse konnte ebenfalls eine Tendenz zu einem breiteren medialen Kondylus gesehen werden, der Unterschied war jedoch nicht signifikant.

Verwirrend waren die Resultate der Breitenmessungen an den Zehenknochen. Während die lateralen Fesselbeine gleich breit oder breiter als die medialen waren, waren die medialen Kronbeine an allen Gliedmassen der vier Alterskategorien breiter als die lateralen. Bei den Klauenbeinen war dann wieder das laterale Klauenbein deutlich breiter. Eine mögliche Erklärung für die unterschiedliche Breite der Phalangen könnte darin gefunden werden, dass das laterale Kron- und Klauenbein auf den Röntgenbildern häufig gekippt abgebildet war.

Die Ergebnisse der Winkelmessungen sind ebenfalls schwierig zu interpretieren. Sowohl die Bestimmung der Röhrbeinachse als auch die der Zehenachse ergaben keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gliedmassen. Die Tendenz, dass sich die Zehenachse an den Beckengliedmassen mehr der lateralen Klaue zuneigt, muss mit anderen Methoden bestätigt oder ausgeschlossen werden.

8. Literaturverzeichnis

ALSLEBEN, B., A. RUSSKE, J. WREDE, H. HAMANN und O. DISTL (2003)

Messung der Druckverteilung unter den Klauen bei Rindern der Rasse Deutsche Holsteins in den ersten zwei Lebensjahren.

Der Praktische Tierarzt 84(3): 232-40.

BARTOSIEWICZ, L. (1984)

Sexual dimorphism of long bone growth in cattle.

Acta Veterinaria Hungarica 32(3-4): 135-146-

BARTOSIEWICZ, L., W. VAN NEER und A. LENTACKER (1997)

Draught cattle: their osteological identification and history.

Annales sciences zoologiques 281.

BERGER, G. (1988)

Art und Verteilung von Klauenerkrankungen auf die einzelnen Zehen bei Kühen in einstreuloser Laufstallhaltung.

Monatshefte für Veterinärmedizin 43(23): 821-25.

CARVALHO, V., R. BUCKLIN, J. SHEARER und L. SHEARER (2005)

Effects of trimming on dairy cattle hoof weight bearing and pressure distributions during the stance phase.

Transactions of the American Society of Agricultural Engineers 48(4): 1653-9.

ČERVENÝ, C. (1983)

Ossification and development of the ossa sesamoidea phalangis proximalis in cattle.

Acta Veterinaria Brno 52: 27-38.

ČERVENÝ, C. (1985)

Anatomical characteristics on the ossa sesamoidea phalangis proximalis in cattle.

Acta Veterinaria Brno 54: 3-22.

CLARKSON, MJ., DY. DOWNHAM, WB. FAULL, JW. HUGHES, FJ. MANSON, JB. MERRITT, RD. MURRAY, WB. RUSSEL, JE. SUTHERST und WR. WARD (1996)

Incidence and prevalence of lameness in dairy cattle.

Veterinary Record 138(23): 563-7.

EBEID, M. (1992)

Radiographic appearance of the healthy and diseased claws in Swiss Braunvieh Cattle.

Inaugural-Dissertation. Vetsuisse-Fakultät, Universität Zürich.

EBEID, M. und A. STEINER (1996)

Guidelines for taking and interpreting radiographs of the bovine foot.

Veterinary Medicine: 268-72.

ELLENBERGER, W. und H. BAUM (1943)

Das Skelett der Gliedmassen. In: Handbuch der vergleichenden Anatomie der Haustiere. 18. Auflage Berlin, Verlag Julius Springer: 118-89.

FLOWER, F.C., AM. DE PASSILLE, DM. WEARY, DJ. SANDERSON und J. RUSHEN (2007)

Softer, higher-friction flooring improves gait of cows with and without sole ulcers.

Journal of Dairy Science 90: 1235-1242.

HABACHER, F. (1948)

Der Huf- und Klauenbeschlag.

Inaugural-Dissertation. Veterinärmedizinische Universität Wien.

HERNANDEZ-MENDO, O., MA. VON KEYSERLINGK, DM. VEIRA und DM. WEARY (2007)

Effects of pasture on lameness in dairy cows.

Journal of Dairy Science 90: 1209-1214.

HUTH, C., A. RUSSKE, B. ALSLEBEN, H. HAMANN und O. DISTL (2004)

Body and claw measurements and pressure distribution under the claws in calves of different cattle breeds.

Berliner und Münchner Tierärztliche Wochenschrift 117(7-8): 316-326.

KEHLER, W. und T. GERWING (2004)

Effects of functional claw trimming on pressure distribution under hind claws of german holstein cows.

Proceedings of the 13th International Symposium and 5th Conference on Lameness in Ruminants, Maribor, Slovenija: 103-4.

KELLER, A. (2007)

Röntgenologischer Vergleich der lateralen und medialen Zehen sowie Klauenvermessungen bei Wildwiederkäuern.

Inaugural-Dissertation. Vetsuisse-Fakultät, Universität Zürich.

KUMMER, M., C. LISCHER, S. OHLERTH, J. VARGAS und J. AUER (2004)

Evaluation of a standardised radiographic technique of the equine hoof.

Schweizer Archiv für Tierheilkunde 146: 507-14.

MARTIG, J., W. LEUENBERGER und M. DOZZI (1979)

Häufigkeit und Art von Klauenläsionen in Abhängigkeit von verschiedenen Faktoren.

Schweizer Archiv für Tierheilkunde 121: 577-91.

MEYER, SW. (2006)

Hochfrequenzkinematographische Untersuchungen des Fussungsvorganges von Rindern auf dem Laufband.

Inaugural-Dissertation. Vetsuisse-Fakultät, Universität Zürich.

MEYER, SW., K. NUSS und MA. WEISHAUPT (2004)

Cattle locomotion patterns: A high speed cinematographic study on the treadmill.

Proceedings of the 13th International Symposium and 5th Conference on Lameness in Ruminants, Maribor, Slovenia: 71-73.

MEYER, SW., MA. WEISHAUPT und K. NUSS (2007)

Gait patterns of heifers before and after claw trimming: A high-speed cinematographic study on a treadmill.

Journal of Dairy Science 90: 670-676.

NACAMBO, S., M. HÄSSIG, C. LISCHER und K. NUSS (2004)

Difference in length of the metacarpal and metatarsal condyles and the correlation to claw size.

Proceedings of the 13th International Symposium and 5th Conference on Lameness in Ruminants, Maribor, Slovenia: 104-106.

NACAMBO, S. (2005)

Difference in the length of the metacarpal and metatarsal condyles in calves and cows.

Inaugural-Dissertation. Vetsuisse-Fakultät, Universität Zürich.

NICKEL, R., A. SCHUMMER und E. SEIFERLE (2004)

Passiver Bewegungsapparat, Skelettsystem. In: Lehrbuch der Anatomie der Haustiere. Band 1. 8., unveränderte Auflage. R. Nickel, A. Schummer, KH. Wille und H. Wilkens. Parey Verlag, Stuttgart: 76-91.

NUSS, K., RG. KÖSTLIN, H. BÖHMER und MP. WEAVER (1990)

Zur Bedeutung der Ungulocoriitis septica (traumatica) - UCS(T) - an der Klauenspitze („Sohlenspitzeneschwür“) des Rindes.

Tierärztliche Praxis 18: 567-75.

NUSS, K. und N. PAULUS (2006)

Measurements of claw dimensions in cows before and after functional trimming:
A post-mortem study.

The Veterinary Journal 172(2): 284-92.

NÜSKE, S., A. SCHOLZ und M. FÖRSTER (2004)

The claws of heifers and bulls within the first two years of their lives - a contribution to the development of the horn capsula considering different breeding lines and genders.

Proceedings of the 13th International Symposium and 5th Conference on Lameness in Ruminants, Maribor, Slovenija: 73-5.

OSSENT, P., DJ. PETERSE und HC. SCHAMHARDT (1987)

Distribution of load between the lateral and medial hoof of the bovine hind limb.
Journal of Veterinary Medicine 34(A): 296-300.

PARAL, V., F. TICHY und M. FABIS (2004)

Functional structure of metapodial bones of cattle.

Acta Veterinaria, Brno, Czech Republic 73: 413-420.

PAULUS, N. (2004)

Ermittlung von Hornschuh- und Lederhautabmessungen an den Klauen der Beckengliedmassen von Fleckviehrindern.

Inaugural-Dissertation, Vetsuisse-Fakultät, Universität Zürich.

PAULUS, N. und K. NUSS (2002)

Claw measurements at defined sole thickness.

Proceedings of the 12th International Symposium on Lameness in Ruminants, Orlando, Florida, USA: 428-430.

PAULUS, N. und K. NUSS (2006)

Unterschiede zwischen den Abmessungen von lateraler und medialer Klaue an den Beckengliedmassen bei Jungbullen.

Tierärztliche Praxis 34(G): 86-93.

PETERSEN, G. (1921)

Untersuchungen über das Fuss skelett des Rindes.

Morphologisches Jahrbuch 51.

RANFT, WH. (1936)

Die feineren anatomischen Merkmale der Zehenknochen, speziell der Klauenbeine, des Rindes.

Morphologisches Jahrbuch 78: 377-420.

RUSTERHOLZ, A. (1920)

Das spezifisch-traumatische Klauensohlengeschwür des Rindes.

Schweizer Archiv für Tierheilkunde 62: 421-66, 505-25.

SCHMID, T., K. NUSS, SW. MEYER und M. WEISHAUPT (2006)

High-speed cinematographic evaluation of gait and ground contact patterns of 30 cattle on a treadmill.

Proceedings of the 15th Annual ECVS Scientific Meeting, Sevilla, Spain: 181-2.

SCHWARZMANN, B. (2005)

Messungen am Hornschuh, den Röhreinkondylen und den Zehenknochen bei Kälbern.

Inaugural-Dissertation. Rinderabteilung der Chirurgischen Tierklinik. Ludwig-Maximilians-Universität, München.

SIMON, G. (1963)

Untersuchungen über altersbedingte Veränderungen der Klauenbeine des Rindes.

Inaugural-Dissertation. Vetsuisse-Fakultät, Universität Zürich.

THOMSEN, P. (2004)

Mortality (including euthanasia) among Danish dairy cows (1990 – 2001).

Preventive veterinary medicine 62(1): 19-33.

TOUSSAINT RAVEN, E. (1985)

The principles of claw trimming.

The Veterinary Clinics of North America – Food Animal Practice, 1: 93-107.

VAN DER TOL, PP., JH. METZ, EN. NOORDHUIZEN-STASSEN, W. BACK, CR BRAAM und WA. WEIJS (2002)

The pressure distribution under the bovine claw during square standing on a flat substrate.

Journal of Dairy Science. 85(6): 1476-81.

VAN DER TOL, PP., JH. METZ, EN. NORDHUIZEN-STASSEN, W. BACK, CR. BRAAM und WA. WEIJS (2003)

The vertical ground reaction force and the pressure distribution on the claws of dairy cows while walking on a flat substrate.

Journal of Dairy Science. 86(9): 2875-83.

**VAN DER TOL, PP., SS. VAN DER BEEK, JH. METZ,
EN.NOORDHUIZEN- STASSEN, W. BACK, CR. BRAAM und WA.
WEIJS (2004)**

The effect of preventive trimming on weight bearing and force balance on the claws of dairy cattle.

Journal of Dairy Science. 87(6): 1732-8.

VARGAS, J. (2004)

Evaluation des Messprogramms Metron PX™ zur morphometrischen Beschreibung von Röntgenbildern des Pferdehufes.

Inaugural-Dissertation. Pferdechirurgie. Vetsuisse-Fakultät, Zürich.

9. Lebenslauf

Evelyne Muggli

10. Oktober 1980	Geboren in Wetzikon
1987 – 1993	Primarschule in Wetzikon (ZH)
1993 – 1995	Sekundarschule in Wetzikon (ZH)
1995 – 2000	Gymnasium in Wetzikon (ZH)
2000 – 2005	Studium der Veterinärmedizin an der Universität Zürich
Seit 2006	Doktorandin und Assistentin an der Abteilung für Nutztierchirurgie, Departement für Nutztiere der Universität Zürich

10. Danksagungen

An dieser Stelle möchte ich mich bei allen herzlich bedanken, die zur Entstehung dieser Arbeit beigetragen haben:

Herrn PD Dr. Karl Nuss für die Überlassung des Themas sowie für seine unzähligen Ratschläge, sein Engagement und die stets grosse Hilfsbereitschaft bis zur Fertigstellung dieser Arbeit.

Herrn Prof. Dr. U. Braun für die Möglichkeit, die Messungen am Departement für Nutztiere der Universität Zürich durchzuführen und diese Arbeit zu schreiben.

Herrn Prof. Dr. M. Flückiger für die Übernahme des Korreferates.

Frau Dr. med. vet. Anna Keller für die Unterstützung und Motivation, die vielen interessanten Diskussionen und die immer grosse Hilfsbereitschaft bei der Dissertation und in der Klinik.

Herrn Bruno Gerzner und Herrn Dr. Giochen Bearth für die freundliche Unterstützung bei der Besorgung der Zehen.

Den Mitarbeitern und Mitarbeiterinnen der Abteilung für Bildgebende Diagnostik für die vielen Ratschläge beim Anfertigen und Entwickeln der Röntgenbilder.

Meiner Schwester Claudia Muggli für das Korrekturlesen dieser Arbeit, sowie meinen Eltern Hanna und Walter Muggli für ihre Unterstützung während des gesamten Studiums und der Erstellung der Dissertation.

Meiner Freundin Ramona Levy für ihre Unterstützung, Motivation und Verständnis während der Erstellung der Dissertation.